



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

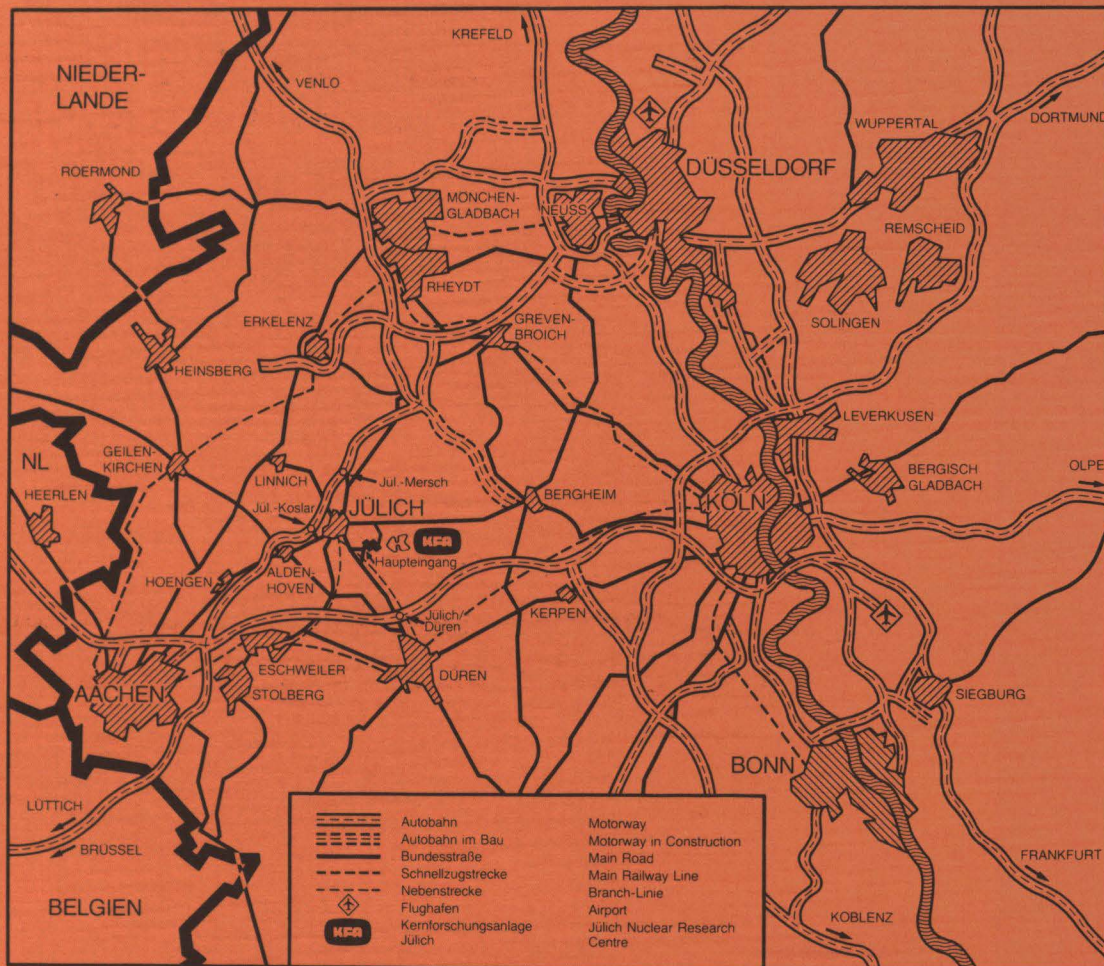
Programmgruppe Technik und Gesellschaft

**Untersuchung zu
Möglichkeiten der Effektivitätsbewertung
von Safeguardssystemen**

von

M.J. Canty, G. Stein und A. Reznicek

Jül - Spez - 256
Mai 1984
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 256
 Programmgruppe Technik und Gesellschaft Jül-Spez-256

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 19 13 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833566-0 kf d

Untersuchung zu Möglichkeiten der Effektivitätsbewertung von Safeguardssystemen

von

M.J. Canty, G. Stein

Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich
Programmgruppe Technik und Gesellschaft

A. Rezniczek

UBA Unternehmensberatung GmbH, Aachen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Erfordernisse aus der Sicht der IAEA
3. Darstellung der Safeguards Effectiveness Assessment Methodology (SEAM)
 - 3.1 Beschreibung der Vorgehensweise von SEAM
 - 3.2 Anwendungsbereiche von SEAM
4. Kritik der Safeguards Effectiveness Assessment Methodology (SEAM)
 - 4.1 Betrachtungen zu einzelnen Verfahrensschritten in SEAM
 - 4.1.1 Zielfunktion
 - 4.1.2 Begriff der Anomalie
 - 4.1.3 Entdeckungswahrscheinlichkeit
 - 4.1.4 Entdeckungswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems
 - 4.2 Betrachtung der generellen Vorgehensweise in SEAM
 - 4.3 Betrachtung des in SEAM zugrunde gelegten Grundmodells der Überwachung
5. Anforderungen an eine formale Beschreibung von Safeguardssystemen
6. Vorschlag für eine alternative Vorgehensweise
 - 6.1 Darstellung des Verfahrens
 - 6.2 Abgrenzung gegenüber SEAM
7. Zusammenfassung
8. Literaturverzeichnis
9. Anhang

1. Einleitung

Seit 1979 hat die IAE0 eine Reihe von Meetings und Konferenzen initiiert, wo unter Beteiligung verschiedener Experten die Problemstellung einer transparenten Darstellung der Effektivität von IAE0-Safeguards analysiert wurde. Da die Effektivität neben technischen Elementen auch politische Faktoren, also das gesamte Umfeld der jeweiligen Kontrollabkommen umfassen muß, ist eine quantifizierte Darstellung der Effektivität nur mühsam realisierbar.

Welche Probleme auftreten können und wo Grenzen einer möglichen Quantifizierung liegen, soll an der SEAM Methode gezeigt werden, die als ein Versuch konzipiert wurde Zielsetzung, Anwendung und Wirksamkeit von IAE0-Safeguards miteinander zu verknüpfen und zu quantifizierbaren Aussagen, z.B. über Schwachstellen des Safeguardssystems oder Ressourcenverteilung für Safeguards in den verschiedenen kerntechnischen Anlagen, zu gelangen.

Erfahrungen führen zu dem Ergebnis, daß es sinnvoller ist, Methoden zu erarbeiten, mit denen die Effektivität qualitativ bewertet werden kann. Weiterhin zeigt sich, daß eine umfassende Methode, die dem ehrgeizigen Plan genügen will, alle Fragestellungen der IAE0 einheitlich zu beantworten, inhärente Schwierigkeiten in sich birgt, die unüberwindbar erscheinen. Aus diesem Grunde empfiehlt sich auch eine entkoppelte Behandlung der Probleme.

Ein alternativer Ansatz zur Bewertung der Effektivität versucht diese Vorstellungen einzubauen.

2. Erfordernisse aus der Sicht der IAEA

Die IAEA hält es wegen ihrer Verpflichtung gegenüber der internationalen Völkergemeinschaft und dem wachsenden Umfang der notwendigen Safeguardsaktivitäten für erforderlich, ihre Aktivitäten im Einklang mit rationalen Prinzipien durchzuführen. Diese sind aus der Sicht der IAEA /Grue81/:

1. Safeguardssysteme müssen entsprechend der IAEA-Safeguardszielsetzung entworfen werden.
2. Inspektionen müssen so geplant und durchgeführt werden, daß mit den vorhandenen Ressourcen die gesteckten Ziele zu einem möglichst hohen Grad erreicht werden und
3. die Inspektionsdaten müssen systematisch ausgewertet werden, um feststellen zu können, ob eine Abzweigung stattgefunden hat oder, wenn hierfür keine Anzeichen vorliegen, sicherzustellen, daß eine Abzweigung, falls sie durchgeführt wurde, auch entdeckt worden wäre.

Als Zielsetzung ihrer Safeguardsaktivitäten legt die IAEA Art. 28 INFCIRC 153 zugrunde: "...die rechtzeitige Entdeckung einer Abzweigung signifikanter Mengen.....".

Diese qualitativen Angaben sind für die IAEA nicht geeignet um Safeguardsarbeiten systematisch planen zu können /Grue80/. Von den in diesem Satz enthaltenen Parametern wurden bereits signifikante Mengen und Entdeckungszeit vorläufig als Leitlinie quantifiziert. Um aus der Formulierung von Art.28 operationable Handlungsanweisungen als Managementvorgaben ableiten zu können, muß noch ein dritter Parameter, die Entdeckungswahrscheinlichkeit, quantifiziert werden. Dies soll durch die Safeguards Effectiveness Assessment Methodology (SEAM) geschehen. Die IAEA sieht die Entdeckungswahrscheinlichkeit als den zentralen Parameter hinsichtlich der Effektivität ihrer Safeguardsaktivitäten an.

3. Darstellung der Safeguards Effectiveness Assessment Methodology (SEAM)

Die Safeguards Effectiveness Assessment Methodology (SEAM) beginnt mit einer Beschreibung der Anlage und des Safeguardsentwurfes für diese Anlage. Der Entwurf beinhaltet eine umfassende Liste von Inspektionsaktivitäten, die für die Inspektionsplanung in Betracht kommen. Weiter wird eine Abzweigungsanalyse durchgeführt, um mögliche Abzweigungspfade und deren Verschleierungsmöglichkeiten für die betrachtete Anlage zu identifizieren. Jeder Abzweigungspfad wird durch eine oder mehrere Anomalien charakterisiert, die beobachtet werden können, wenn eine Abzweigung über diesen Pfad erfolgt. Jeder Abzweigungspfad wird klassifiziert anhand der technischen Komplexität, die eine Abzweigung und ihre Verschleierung über diesen Pfad erfordern. Weiterhin wird jeder Inspektionsaktivität ein Wert zugewiesen, der ihre Möglichkeiten abbildet, entsprechende Anomalien zu entdecken. Damit kann allen Inspektionsaktivitäten ein Wert zugeordnet werden, der ihrer Effektivität zur Entdeckung von Abzweigungen entspricht. Zusätzlich kann man jeder Inspektionsaktivität einen mittleren Zeitaufwand zuweisen, der für ihre Durchführung erforderlich ist und damit der IAEA die Möglichkeit eröffnen, Manpower nach dem Kriterium der optimalen Effektivität zu verteilen.

3.1 Beschreibung der Vorgehensweise von SEAM

Bei SEAM werden im einzelnen 6 Schritte und drei Anwendungsbereiche unterschieden /McDa81/. Die Schritte sind:

1. Beschreibung der Anlage
2. Bestimmung der technischen Safeguardsziele
3. Festlegung des Safeguardssystems
4. Analyse der Abzweigungspfade
5. Schätzung der Entdeckungswahrscheinlichkeiten
6. Zusammenfassung und Präsentation der Daten

Zu 1. Beschreibung der Anlage

Die Beschreibung der Anlage muß alle Angaben enthalten, die mit Inventar und Bewegungen von Kernmaterial, mit der Geometrie der Anlage und für Safeguards relevanten Betriebsvorgängen zusammenhängen. In Fällen, in denen Containment und Surveillance eine wesentliche Rolle im Safeguardssystem spielen, sind auch Details des Anlagendesigns wichtig. So ist z.B. eine Abzweigungsanalyse, die für einen LWR gültig ist, nicht unbedingt gültig für einen anderen LWR.

Zu 2. Bestimmung der technischen Safeguardsziele

Nach der Beschreibung der Anlage ist der nächste Schritt der Methode die Festlegung der technischen Ziele des Safeguardssystems. Dies betrifft im wesentlichen die Festlegung der Parameter signifikante Menge und Rechtzeitigkeit der Entdeckung.

Für einen LWR z.B. betragen diese Zielgrößen 8 kg Plutonium bei einer Entdeckungszeit von 3 Monaten und 75 kg U235 in frischen Brennelementen mit einer Entdeckungszeit von einem Jahr.

Zu 3. Definition des Safeguardssystems

Die Abbildung des Safeguardssystems soll in der Lage sein, die Reaktion des Systems auf Abzweigungsaktivitäten zu beschreiben. Als Systemreaktion auf eine Abzweigung wird dabei die Entdeckungswahrscheinlichkeit für die mit diesem Abzweigungsszenario verbundenen Anomalien verstanden.

Insgesamt muß diese Abbildung eine Grundlage bilden, die es ermöglicht, die Anomalie-Entdeckungswahrscheinlichkeit für jeden Abzweigungspfad zu bestimmen. Die Festlegung des Safeguardssystems muß daher sehr detailliert sein. Diese Festlegung besteht aus drei Teilen:

- a) einem Set von Routineinspektionsaktivitäten
- b) einem Set von Anomalien

c) einem Set von Follow-up-Aktivitäten

Bei den Routineinspektionsaktivitäten werden z.B. beim LWR drei Gruppen von Inspektionsaktivitäten unterschieden:

- a) Physikalische Bestandsaufnahme während des Reaktorstillstands
- b) zwischenzeitliche Inspektion zur Verifizierung von CS-Geräten bei Lagerbecken und Reaktorcore und
- c) Inspektion beim Versand von nur teilweise gefüllten Behältern mit abgebrannten BE zur Verifizierung des Behälterinhalts.

Bei diesen Inspektionen werden als begleitende Tätigkeiten Buchprüfungen, Itemcounting und Instandhaltungsarbeiten an den CS-Geräten durchgeführt.

Hinsichtlich der Anomalien werden folgende Kategorien unterschieden:

- Inkonsistenzen innerhalb der Operator-Records oder Inkonsistenzen zwischen Records und Berichten
- Anzeichen für Verfälschungsversuche bei CS-Geräten wie z.B. ein gebrochenes Siegel
- Inkonsistenzen zwischen Aufzeichnungen der Überwachungsgeräte und Betreiberangaben z.B. Unstimmigkeiten zwischen vom Betreiber angegebenen Kranbewegungen und den Kameraaufzeichnungen
- Unstimmigkeiten bei Item-Counting oder den Seriennummern der Brennelemente
- Unstimmigkeiten zwischen Meßwerten und den Betreiberbuchdaten
- Ausfälle von CS-Geräten

Da eine Anomalie noch kein Beweis für eine Abzweigung ist, sondern vielfältige Ursachen haben kann, sind follow-up-Aktivitäten erforderlich, um eine Anomalie zu ergründen. Bei den follow-up-Aktivitäten werden im wesentlichen zwei Typenklassen unterschieden. Die erste Klasse bilden follow-up-Aktivitäten, die

im wesentlichen eine Wiederholung der Inspektionstätigkeit darstellen, um Inspektionsirrtümer auszuschließen, z.B. bei Unstimmigkeiten, bei Itemcounting oder Inkonsistenzen zwischen Betreiberaufzeichnungen und Berichten. Die zweite Klasse bilden follow-up-Aktivitäten, die eine Verifizierung nach einem anderen Verfahren vornehmen. Dies ist in der Regel eine Reverifizierung des Materials.

Zu 4. Analyse der Abzweigungspfade

Um bei komplexen Anlagen eine vollständige Erfassung aller denkbaren Abzweigungspfade zu gewährleisten, werden logische Folgen aller möglichen Kombinationen von Verschleierungsaktivitäten hinsichtlich jeder wichtigen Inspektionsaktivität, für jeden Materialtyp und jeden Ort in der Anlage gebildet.

Ausgegangen wird von der Art des zu überwachenden Materials. Beim LWR z.B. werden zwei Materialklassen unterschieden: schwachangereichertes Uran in den frischen Brennelementen und Plutonium in abgebrannten Brennelementen. Entsprechend der unterschiedlichen Safeguardsziele für diese Materialarten unterscheiden sich auch die Inspektionstätigkeiten nach Art und Häufigkeit.

Der zweite Ansatzpunkt ist der Ort des Materials. Abgebrannter Kernbrennstoff ist sowohl im Lagerbecken als auch im Reaktorcore. Frische Brennelemente befinden sich im Lager und evtl. auch im Lagerbecken unmittelbar vor der Beschickung des Cores. Differenziert nach Materialtyp und Ort werden alle Möglichkeiten betrachtet, eine Abzweigung bei den vorgegebenen Inspektionsaktivitäten zu verschleiern. Die Verschleierungsmöglichkeiten werden dabei klassifiziert nach dem technischen Aufwand, der für ihre Durchführung erforderlich wäre.

Als Ergebnis der Abzweigungsanalyse ergibt sich eine Liste, die für jeden Abzweigungspfad folgende Daten enthält:

1. Identifikationskennzeichen des Abzweigungspfades
2. die angewandte Verschleierungsmethode

3. Anomalien, die bei dieser Abzweigung beobachtet werden können und
4. Klassifizierung des technischen Aufwandes zur Durchführung der Abzweigung (Technical Complexity Level)

Diese Liste kann dann zur Festlegung geeigneter Inspektionsaktivitäten herangezogen werden, da sie z.B. die Anomalien ausweist, die bei den meisten Abzweigungsversuchen auftreten. Sie zeigt ebenfalls die Abzweigungspfade, die durch Inspektionen nicht abgedeckt sind.

Zu 5. Schätzung der Entdeckungswahrscheinlichkeiten

Wenn eine Abzweigung stattfindet, treten dabei eine oder mehrere Anomalien auf. Wenn der Safeguardsentwurf Inspektionsaktivitäten umfaßt, die diese Anomalien entdecken können, dann besteht auch eine bestimmbare Möglichkeit dafür, die Abzweigung zu entdecken und diese Wahrscheinlichkeit kann geschätzt werden. Wenn diese Aktivität nicht durchgeführt wird, ist diese Wahrscheinlichkeit gleich Null. Ebenfalls wenn der Safeguardsentwurf keine Möglichkeiten vorsieht, mit diesem Abzweigungspfad verbundene Anomalien zu entdecken, ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit dieser Abzweigung gleich Null.

Zur Bestimmung der Anomalieentdeckungswahrscheinlichkeiten werden drei Ansätze benutzt:

a) direkte Schätzung

In Fällen, in denen die Entdeckung einer Anomalie nur von den Tätigkeiten des Inspektors abhängt und nicht von anderen Größen wie z.B. Stichprobenumfang oder Gerätezuverlässigkeit beeinflusst wird, wird die Entdeckungswahrscheinlichkeit direkt geschätzt unter der Annahme, daß die Inspektionsaktivität korrekt durchgeführt wurde.

b) Schätzung anhand der Stichprobengröße

Bei Inspektionsaktivitäten, die Stichprobennahmen vorsehen, kann die Entdeckungswahrscheinlichkeit statistisch aus der Stichprobengröße abgeleitet werden.

c) Schätzung für optische Überwachungsgeräte

Für die optische Überwachung wird die Entdeckungswahrscheinlichkeit aus den Parametern Gerätezuverlässigkeit, Dauer des Abzweigungsvorganges und Bildnahmefrequenz abgeleitet.

Die in diese Schätzungen eingehenden Parameter müssen sehr oft geschätzt werden, da keine exakten Werte bestimmt werden können. Die Festlegung der Werte soll in diesen Fällen durch Expertenteams erfolgen.

Zu 6. Zusammenfassung und Präsentation der Daten

A) Darstellung der Ergebnisse

Ein Ergebnis von SEAM ist die Darstellung der Entdeckungswahrscheinlichkeiten pro Abzweigungspfad in Form von Liniendiagrammen (bar charts). Diese Diagramme stellen ein Profil der vorgesehenen Inspektionsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Entdeckungsfähigkeiten dar. In den Liniendiagrammen werden keine exakten numerischen Werte verwendet sondern Wahrscheinlichkeitsklassen. Dabei werden sechs Klassen unterschieden:

null
sehr gering
gering
mittel
hoch
sehr hoch

Diese Liniendiagramme werden jeweils für alle Abzweigungspfade einer technischen Komplexitätsklasse erstellt.

B) Aggregierte Maßzahlen

Die Liniendiagramme sind ausreichend um z.B. die Schwachstellen eines Safeguardssystems zu identifizieren. Sie sind jedoch nicht einsetzbar, um Managemententscheidungen wie z.B. Ressourcenallokation oder Leistungsvergleich zwischen einzelnen Anlagen zu ermöglichen oder um als Kommunikationsbasis im Board of Governors zu dienen. Hierzu ist die Zusammenfassung der Ergebnisse in einem einzigen Wert erforderlich. Bei der Aggregation zu einer Gesamtzahl werden folgend Faktoren berücksichtigt:

- a) Art und Form des Kernmaterials
- b) Technische Komplexitätsgruppe der Abzweigungspfade
- c) die Entdeckungswahrscheinlichkeiten
- d) die Anzahl der Abzweigungspfade mit Entdeckungswahrscheinlichkeit Null
- e) Sensitivität und
- f) Rechtzeitigkeit der Entdeckung

3.2 Anwendungsbereiche von SEAM

Die IAE0 unterscheidet zwischen mehreren Bewertungserfordernissen und Anwendungsbereichen für SEAM /Grue81/:

1. Entwurfsbewertung

Entwurfsbewertungen werden zur Untersuchung alternativer Safeguardsmodelle eingesetzt und sollen a priori die Entdeckungswahrscheinlichkeit für eine Abzweigung bestimmen. Solche Entwürfe werden normalerweise zunächst für Anlagentypen entwickelt, wobei Annahmen hinsichtlich Betriebsbedingungen und der Leistungsfähigkeit des staatlichen Bilanzierungs- und Kontrollsystems, sowie der Einsatzmöglichkeiten der IAE0 hinsichtlich Manpower, Ausrüstung und Mitteln zugrunde gelegt werden. Diese Entwurfsbewertung liefert Daten darüber, inwieweit die Safeguardsziele durch den Entwurf erreicht werden können und dient als Referenz für die Implementierungsbewertung und die Leistungsbewertung.

2. Implementierungsbewertung

Implementierungsbewertungen sind vergleichbar den Entwurfsbewertungen, jedoch werden sie nicht mehr für einen Anlagentyp sondern für eine konkrete Anlage durchgeführt. Sie ergeben eine Prioritätsliste für Inspektionsaktivitäten und sollen den optimalen Einsatz von Inspektions-Manpower ermöglichen.

3. Leistungsbewertung

Die Leistungsbewertung ist eine Bewertung im nachhinein, um zu überprüfen, wie weit die Entdeckungsziele für eine bestimmte Zeitperiode, basierend auf den aktuellen Inspektionsergebnissen, erreicht werden konnten. Leistungsbewertungen werden nach jeder Inspektion durchgeführt, um deren Effektivität zu ermitteln und werden darüberhinaus pro Jahr zu einer das gesamte Jahr umfassenden Bewertung kombiniert.

4. Kritik der Safeguards Effectiveness Assessment Methodology (SEAM)

SEAM entspringt dem Bedürfnis und der Verpflichtung der IAEA nach einer rationalen Planungsgrundlage. SEAM soll dabei als das Instrument eingesetzt werden, mit dem die Effektivität von Safeguardsaktivitäten bestimmt werden kann. Die Notwendigkeit von rationalen Planungsverfahren wird auch von uns gesehen, jedoch sollte man bei einem rationalen Vorgehen zunächst die Zielgröße definieren, die mit dem zu schaffenden Instrument gemessen werden soll.

4.1 Betrachtungen zu einzelnen Verfahrensschritten in SEAM

4.1.1 Zielfunktion

Eine exakte Definition des Begriffes "Effectiveness" wird von der IAEA nicht vorgegeben. Im IAEA Safeguards Glossary wird Effectiveness beschrieben als

"eine Maßzahl für den Grad, zu dem die IAEA Safeguardsaktivitäten in der Lage sind, die Safeguardsziele zu erreichen. Die Effektivität von Safeguards hängt u.a. ab vom Safeguardsentwurf und den ausgewählten Methoden, von der Unterstützung, die durch das SSAC und den Operator erbracht wird, von der verfügbaren Manpower, der Ausrüstung und den finanziellen Mitteln und ihrem effizienten Einsatz".

Diese Beschreibung ist als Definition nicht brauchbar, da sie keine operationale Vorschrift enthält, wie der Zielerreichungsgrad für Safeguardsziele gemessen werden soll.

In SEAM wird als Safeguardszielsetzung Art. 28 INFCIRC 153 zugrunde gelegt:

"Ziel....ist die rechtzeitige Entdeckung der Abzweigung signifikanter Mengen Kernmaterials.....sowie die Abschrek-

kung von einer solchen Abzweigung durch das Risiko frühzeitiger Entdeckung".

Aus dieser allgemein gehaltenen Zielvorgabe leitet die IAEA als Basisgröße für Effektivitätsbetrachtungen die Entdeckungswahrscheinlichkeit für Anomalien ab.

Das Ziel "Messung der Effektivität von Safeguardsystemen" wird damit bestimmt durch die Leistungsfähigkeit des angewendeten Verfahrens. Für ein rationales Vorgehen muß der Weg jedoch genau umgekehrt sein. Zunächst muß festgelegt werden, was gemessen werden soll, um dann anhand dieser Vorgabe ein geeignetes Verfahren entwickeln zu können.

Der Weg von der allgemeinen Zielsetzung der Safeguardsüberwachung, wie sie in Art. 28 INFCIRC 153 festgelegt ist, bis zu den konkreten durchzuführenden Überwachungsmaßnahmen verläuft über einen komplexen mehrstufigen Abstimmungsprozeß. Der in INFCIRC 153 vorgegebene Rahmen wird zunächst in den ergänzenden Abmachungen (Subsidiary Arrangements) an die speziellen Erfordernisse des zu überwachenden Staates angepaßt. In einer zweiten Anpassungsstufe, der Festlegung der anlagenspezifischen Anhänge (Facility Attachements) erfolgt eine Detaillierung auf der Ebene der einzelnen zu überwachenden Anlagen. Obwohl die Überwachung freiwillig und nur auf Verlangen der einzelnen Staaten durchgeführt, also von ihnen selbst gewünscht wird, wurde dieser mehrstufige Abstimmungsprozeß für erforderlich gehalten, um eine ausgewogene Balance zwischen den notwendigerweise konkurrierenden Zielsetzungen einer wirksamen Kontrolle und eines unbeeinträchtigten Anlagenbetriebes zu ermöglichen. Dem im Abkommen verankerten, von der IAEA wahrzunehmenden Ziel, der rechtzeitigen Entdeckung einer Abzweigung, stehen ebenso berechnigte und im Abkommen verankerte Interessen des Betreibers hinsichtlich einer gefahrlosen Betriebsführung, minimalen Betriebsbeeinträchtigung und Schutz seiner wirtschaftlichen Aktivitäten gegenüber, die in den Verhandlungen gegeneinander abgewogen werden.

Eine Methode, die den Anspruch erhebt, die Effektivität der aus diesem Abstimmungsprozeß resultierenden Maßnahmen zu bewerten,

muß auch die Tatsache ausweisen, daß dieses Ergebnis auf einer Abwägung gleichberechtigter Interessen basiert /Ste183/. Eine Methode, die die Notwendigkeit der Abwägung zwischen konkurrierenden Zielen ignoriert und nur eine Zielgröße betrachtet, setzt sich damit automatisch dem Verdacht aus, vorrangig als Instrument zur Durchsetzung dieses Zieles zu dienen und beeinträchtigt damit die politische Akzeptanz von Safeguards. Auch das Argument, daß die anderen Ziele implizit berücksichtigt werden, z.B. bereits in der Auswahl der zu bewertenden Maßnahmen, kann diesen Verdacht nicht ausreichend entkräften, da diese anderen Ziele mit SEAM nicht artikuliert werden können. SEAM ist nur in der Lage, die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen auf die als einzige betrachtete Zielgröße aufzuzeigen, die Auswirkung auf die anderen Zielgrößen können damit nicht transparent gemacht werden.

Selbst wenn man sich diese verkürzte, rein technische Sicht zu eigen macht und als Definition der Effektivität "Maßzahl für den Grad der Zielerreichung" zugrunde legt und als Ziele "Rechtzeitigkeit" und "signifikante Menge", so ergibt sich die Frage, wie Effektivität und Ziele untereinander und mit der als einzigem Parameter betrachteten Entdeckungswahrscheinlichkeit für Anomalien zusammenhängen. Da die IAEA bei den Zielen zwischen Entdeckungszielen und Inspektionszielen unterscheidet, ist anzunehmen, daß bei den Zielen ein Optimierungsspielraum besteht, d.h., das sie nicht nur fest vorgegebene Randbedingungen darstellen. Bei einer numerischen Bestimmung der Effektivität müßte daher auch ein numerischer Zusammenhang zwischen Effektivität und Zielen, den Zielen untereinander und zur Entdeckungswahrscheinlichkeit für Anomalien angegeben werden. Mit dieser Zielfunktion müßte es dann z.B. möglich sein, den Unterschied in der Effektivitätsbewertung zwischen einer dreimonatigen und viermonatigen Inspektion bei LWR anzugeben.

Wir sind der Ansicht, daß INFCIRC 153 über die Größen "Rechtzeitigkeit" und "signifikante" Menge hinaus noch weitere explizite Zielvorgaben enthält, die in einer Effektivitätsbetrachtung berücksichtigt werden müssen. So wird z.B. in den Artikeln 5 und 9 gefordert, daß "die mögliche Belästigung und Störung... so ge-

ring wie möglich sind" und in Artikel 6"...Es werden alle Anstrengungen unternommen, um die optimale Kosteneffektivität.. sicherzustellen, ...". Dies sind explizite Forderungen nach einer Optimierung des Safeguardssystems hinsichtlich dieser Größen. Bei einer Effektivitätsbewertung dürfen sie daher nicht außer acht gelassen werden und müssen in der Zielfunktion enthalten sein.

4.1.2 Begriff der Anomalie

Als nächstes wäre der Begriff Anomalie näher zu spezifizieren. Die Angabe, daß z.B. ein gebrochenes Siegel eine Anomalie darstellt, reicht nicht aus. Legt man z.B. für einen LWR als Safeguardskonzept zugrunde, daß alle Containmentöffnungen des Reaktorgebäudes versiegelt werden, so wäre eine Abzweigung ohne Erbrechen von Siegeln unmöglich. Bei einer Bewertung mit SEAM würde ein solches Konzept eine extrem gute Effektivitätsbewertung erreichen, obwohl es offensichtlich völlig unsinnig ist. Ein Bewertungssystem, das nicht in der Lage ist, zwischen unsinnigen und sinnvollen Safeguardssystemen zu unterscheiden, ist unserer Meinung nach sicherlich kein brauchbares Planungshilfsmittel für den Entwurf und die Implementierung von Safeguardssystemen.

Zwar würde niemand ein solches Konzept ernsthaft zugrunde legen, jedoch zeigt dieses Beispiel, daß zur Definition einer Anomalie mehr gehört, als die Aussage, ob ein Siegel gebrochen wurde oder nicht. Als realistischeres Beispiel kann hier die Versiegelung des biologischen Schildes eines Reaktors angeführt werden. Geht man davon aus, daß ein Siegel eine höhere Anomalieentdeckungswahrscheinlichkeit hat als eine optische Überwachung, so würde ein Safeguardssystem mit Siegel eine bessere Effektivitätsbewertung erfahren, als ein System mit optischer Überwachung. Da jedoch bei einigen Reaktortypen zu Reparatur- und Wartungsarbeiten an der Steuermechanik der Absorberstäbe eine Öffnung des biologischen Schildes erforderlich ist, ist hier eine optische Überwachung wesentlich aussagefähiger als eine Versiegelung, da bei der optischen Überwachung eine Brennelemententnahme erkannt werden kann und bei der Versiegelung jedoch nicht. Nach unserer

Ansicht muß daher der Begriff Anomalie wesentlich schärfer gefaßt werden und die potentiellen Ursachen mit berücksichtigen.

Zur Spezifizierung einer Anomalie muß ein weiterer Aspekt berücksichtigt werden, den man mit dem Begriff "Aussagewert" der Anomalie umschreiben kann. Damit ist gemeint, mit welcher Zuverlässigkeit und mit welchem Aufwand bei Auftreten dieser Anomalie die zugrundeliegende Ursache bestimmt werden kann. Ebenso darin berücksichtigt werden muß die Fehlalarmrate einer Anomalie, d.h. die Häufigkeit ihres Auftretens, ohne daß eine Abzweigung als Ursache zugrunde liegt. D.h., zur Definition einer Anomalie gehört auch eine Betrachtung, über welchen Weg und mit welchem Aufwand man von der Entdeckung dieser Anomalie zur Identifizierung einer Abzweigung gelangt. Dieser "Aussagewert" ist ein Faktor, der bei einer Effektivitätsbetrachtung auf keinen Fall vernachlässigt werden kann

4.1.3 Entdeckungswahrscheinlichkeit

Von der IAE0 wird die Entdeckungswahrscheinlichkeit als der zentrale Parameter für die Effektivitätsbewertung angesehen. Gemeint ist damit die Entdeckungswahrscheinlichkeit für eine Abzweigung. SEAM arbeitet jedoch mit den Entdeckungswahrscheinlichkeiten von Anomalien. Die Entdeckungswahrscheinlichkeiten für Abzweigung und Anomalien sind jedoch keinesfalls gleichzusetzen.

Geht man von der Hypothese aus, daß eine Abzweigung Anomalien erzeugt, und setzt man eine Abzweigung voraus, so sei $P(DÜ)$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Abzweigung über einen überwachten Pfad erfolgt. $P(EA)$ sei die Wahrscheinlichkeit, daß die mit der Abzweigung erzeugten Anomalien entdeckt werden und $P(ID)$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß als Ursache der Anomalie die Abzweigung identifiziert werden kann. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit für eine Abzweigung $P(ED)$ ist dann:

$$P(ED) = P(DÜ) \times P(EA) \times P(ID)$$

In SEAM wird von diesen drei Faktoren nur der Faktor $P(EA)$, die Entdeckungswahrscheinlichkeit für Anomalien, betrachtet. Dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, daß die beiden anderen Wahrscheinlichkeiten zu eins angenommen werden können, d.h. sichere Ereignisse darstellen.

Es kann jedoch keinesfalls davon ausgegangen werden, daß z.B. die Annahme, daß Abzweigungen nur über überwachte Pfade erfolgen als sicheres Ereignis eingestuft werden kann. Ein sicheres Ereignis ist dies nur bei der Anwendung von Bilanzierungsmaßnahmen, da hiermit direkt das Vorhandensein des Materials geprüft wird. Bei der Anwendung von CS-Maßnahmen ist dieser Faktor nicht zu vernachlässigen. Die Bewertung dieses Faktors entspricht der Aufgabe, die die IAEA mit "provide assurance that no diversions have occurred when none are detected" /Grue81/ beschreibt.

Die Entdeckung einer Anomalie ist kein hinreichender Tatbestand für den Nachweis einer Abzweigung. Sie löst nur weitere Maßnahmen (follow-up) aus. Auch die follow-up-Maßnahmen haben in der Regel eine Entdeckungswahrscheinlichkeit kleiner 1, so daß, wenn eine Abzweigung vorliegt und die entsprechende Anomalie entdeckt wurde, die Wahrscheinlichkeit die Abzweigung als solche zu identifizieren, von der Entdeckungswahrscheinlichkeit der follow-up-Maßnahmen bestimmt wird.

Ohne die Berücksichtigung der Faktoren $P(DÜ)$ und $P(ID)$ ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit für eine Anomalie kein aussagefähiger Wert für die Entdeckungswahrscheinlichkeit einer Abzweigung.

4.1.4 Entdeckungswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems

Bei diesen Wahrscheinlichkeitsgrößen muß dann weiter differenziert werden zwischen den Werten für einzelne Abzweigungspfade und der Bewertung des Gesamtsystems. Zur Aggregation der Werte über die einzelnen Pfade muß eine Verteilungsfunktion für die Häufigkeit der Abzweigungen über die einzelnen Pfade zugrunde gelegt werden.

Diese Verteilungsfunktion ist eine Prognose über das Verhalten eines potentiellen Abzweigers. Es wird prognostiziert, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Abzweiger welchen Abzweigungspfad wählen wird. Das Verhalten des Abzweigers hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab wie z.B. seiner Zielsetzung, seiner Motivation, die ihm zur Verfügung stehenden technischen Mittel etc.. Diese Faktoren sind an die Person des Abzweigers gebunden. D.h., für jeden vermuteten Abzweiger muß eine individuelle Verteilungsfunktion angenommen werden. Ein solches Vorgehen ist jedoch aus Gründen der Nicht-Diskriminierung undurchführbar. Als Verteilungsfunktion muß daher ein allgemeiner Ansatz gewählt werden, der nicht nach Mitteln und Fähigkeiten des Abzweigers unterscheidet. Einen belastbaren Wert liefert in diesem Fall als einzige die "Worst Case" Annahme. Es muß unterstellt werden, daß ein Abzweiger genügend Motivation und technische Mittel besitzt, jeden denkbaren Abzweigungspfad zu wählen.

Legt man als Vereinfachung den nicht unbedingt realistischen Fall zugrunde, daß das Safeguardssystem alle denkbaren Pfade abdeckt, so ist der einzige objektiv begründbare Wert für die Entdeckungsfähigkeit dieses Safeguardssystems das Minimum der Entdeckungswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Pfade. Da man einem potentiellen Abzweiger eine rationale Handlungsweise unterstellen muß, wird er für eine Abzweigung den Pfad (d.h. die Häufigkeitsverteilung) wählen, der aus seiner Sicht die geringste Gesamtentdeckungswahrscheinlichkeit aufweist. Damit ist eine statistische Unabhängigkeit bei der Wahl der Abzweigungspfade nicht mehr gegeben.

Der einzige Wert, der eine Aussage über das Gesamtsystem erlaubt, ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit auf dem Abzweigungspfad mit minimaler Entdeckungswahrscheinlichkeit (Minimum Detection Probability Path MDPP). Dafür, die Entdeckungswahrscheinlichkeiten der anderen Pfade bei der Bewertung des Gesamtsystems mitzuberechnen, gibt es keinerlei statistisch begründbare Rechtfertigung. Man muß unterstellen, daß ein potentieller Abzweiger die Auswahl seines Abzweigungspfades auf der Basis der ihm zugänglichen Informationen trifft und kann auf keinen Fall von einer

Gleichverteilung ausgehen, wie sie bei einer Mittelwertbildung angenommen wird. Als Verteilungsfunktion muß die für das Überwachungssystem ungünstigste zugrunde gelegt werden, d.h. die Abzweigung erfolgt vollständig über den MDPP und die Häufigkeit für die anderen Abzweigungspfade ist gleich Null.

Noch kritischer wird die Sachlage, wenn das Safeguardssystem nicht alle denkbaren Pfade abdeckt. Wählt man hier den gleichen Ansatz für die Verteilungsfunktion (worst case), so ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines solchen Systems immer gleich Null.

Will man einen allgemein gültigen Ansatz für die Verteilungsfunktion einer Abzweigung zugrunde legen, so liefert als einzige die Worst Case-Annahme einen belastbaren Wert. Dieser Wert stellt die Untergrenze der Entdeckungsfähigkeit des Safeguardssystems dar.

Die Klassifizierung der Abzweigungspfade nach ihrem "Technical Complexity Level" stellt den SEAM-Ansatz für diese Verteilungsfunktion dar. Diese Annahme kann jedoch in keiner Weise als realistisch angesehen werden. Da man einem Abzweiger eine rationale Handlungsweise unterstellen muß, wird er, wenn auch er die technische Komplexität als wesentlichen Parameter ansieht, innerhalb der Klasse den Pfad mit der geringsten Gesamtentdeckungswahrscheinlichkeit auswählen und seine Entdeckungswahrscheinlichkeit nicht durch eine gleichverteilte Abzweigung über alle überwachten Pfade erhöhen.

Auf einen weiteren Effekt bei der in SEAM vorgeschlagenen Ermittlung einer "Aggregate Measure" durch Mittelwertbildung über die Entdeckungswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Abzweigungspfade wird in /Brow83/ hingewiesen. Bei diesem Ansatz hängt das Ergebnis sehr stark davon ab, wie die einzelnen Abzweigungspfade gegeneinander abgegrenzt werden. So verdoppelt z.B. das Aufsplitten eines Pfades in zwei Varianten das Gewicht des ursprünglichen Pfades. Zerlegt man Pfade mit hoher Entdeckungswahrscheinlichkeit in mehrere Varianten, so wird damit auch die mittlere Entdeckungswahrscheinlichkeit des gesamten Safeguardssystems angehoben. Zerlegt man andererseits Pfade mit niedriger

Entdeckungswahrscheinlichkeit in mehrere Varianten, so sinkt die mittlere Entdeckungswahrscheinlichkeit des Systems.

In SEAM werden die einzelnen Abzweigungspfade durch unterschiedliche Wertkombinationen der Parameter Materialart, Materialort und Verschleierungsmethode voneinander abgegrenzt. Je differenzierter diese Parameterwerte aufgesplittet werden, desto mehr Entwendungspfade ergeben sich. SEAM ist ein Verfahren, bei dem die Art und Weise der Anwendung das Ergebnis beeinflusst.

SEAM kann daher nicht den Anspruch erfüllen, eine objektive Methode zu sein. Es ist nicht gewährleistet, daß, auch bei formal richtiger Anwendung, das gleiche Ergebnis reproduziert wird, wenn verschiedene Personen unabhängig voneinander die Methode auf eine identische Anlage anwenden. Bei der Detaillierung der Abzweigungspfade, bei der Einstufung der Abzweigungspfade hinsichtlich ihres "Technical Complexity Level" und bei der Festlegung der Entdeckungswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Anomalien sind derart viele subjektive Wertsetzungen erforderlich, daß ein gleiches Ergebnis in der Gesamtbewertung eines Safeguardssystems durch verschiedene Personen eher zufällig zu nennen wäre.

4.2 Betrachtung der generellen Vorgehensweise in SEAM

Die IAEA sieht die Entdeckungswahrscheinlichkeit einer Abzweigung als den zentralen Parameter zur Charakterisierung eines Safeguardssystems an. Wir können uns dieser Auffassung jedoch nicht anschließen. Entdeckungswahrscheinlichkeiten sind sicherlich wesentliche technische Kenngrößen eines Safeguardssystems. Sie sind jedoch, abgesehen von den Schwierigkeiten, die Entdeckungsfähigkeit eines Safeguardssystems durch einen Gesamtwert überhaupt annähernd objektiv näher bestimmen zu können, nicht in der Lage, ein Safeguardssystem in seiner Gesamtheit angemessen zu repräsentieren. Entdeckungswahrscheinlichkeiten spielen sicherlich eine wesentliche Rolle in der Entwurfsphase eines Safeguardssystems, um seine Schwachstellen identifizieren zu können. Jedoch muß hier, wie bereits früher dargelegt, zwischen Entdeckungswahr-

scheinlichkeiten von Anomalien für einzelne Abzweigungsstrategien und für das Gesamtsystem unterschieden werden. Der Schritt von den Entdeckungswahrscheinlichkeiten für einzelne Abzweigungsstrategien zu einer Entdeckungswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems ist nur über eine Prognose des Abzweigerverhaltens möglich. Den einzigen belastbaren Wert liefert die Worst Case-Annahme. Sie ergibt den unteren Grenzwert der Entdeckungswahrscheinlichkeit des gesamten Systems und stellt gleichzeitig die Grenze von technisch fundierten Aussagemöglichkeiten dar. Weitergehende Aussagen müssen zwangsläufig neben der Prognose des Verhaltens von technischen Systemen Annahmen über menschliches Verhalten einbeziehen.

Wenn wir den Entstehungsprozeß eines Safeguardssystems betrachten, so können wir darin analog zu der Phasenabgrenzung in SEAM drei Phasen unterscheiden. Die erste Phase ist die Design-Phase. Hier wird anhand der Anlagendaten und der Safeguardszielsetzungen ein Modell des Safeguardssystems entworfen. In dieser Phase ausschlaggebend sind im wesentlichen die technischen Kriterien.

Dieser Modellentwurf ist die Ausgangsbasis für die zweite Phase. In dieser Phase wird mit dem Betreiber auf der Grundlage des Entwurfs ein operationables Vorgehen abgestimmt. In dieser Abstimmungsphase werden die konkurrierenden Zielsetzungen von Betreiber und Behörde ausbalanciert und in den Facility Attachements festgelegt. Hier erfolgt der Abwägungsprozeß zwischen den Zielen einer wirksamen Kontrolle und den Zielen einer möglichst unbeeinträchtigten Betriebsführung der Anlage. Hier wird vereinbart, wie die Überwachungsprozeduren im Detail durchzuführen sind. Für alle weiteren Betrachtungen müssen diese Vereinbarungen den Bezugsrahmen darstellen. Jedes Bewertungssystem, das nicht von diesen Vereinbarungen als Grundlage ausgeht, stellt diese Vereinbarungen permanent in Frage und muß zwangsläufig zu einer Verunsicherung der Betreiber führen, da dadurch auch die Rahmenbedingungen des Anlagenbetriebes in Frage gestellt werden (vgl. Bild 1).

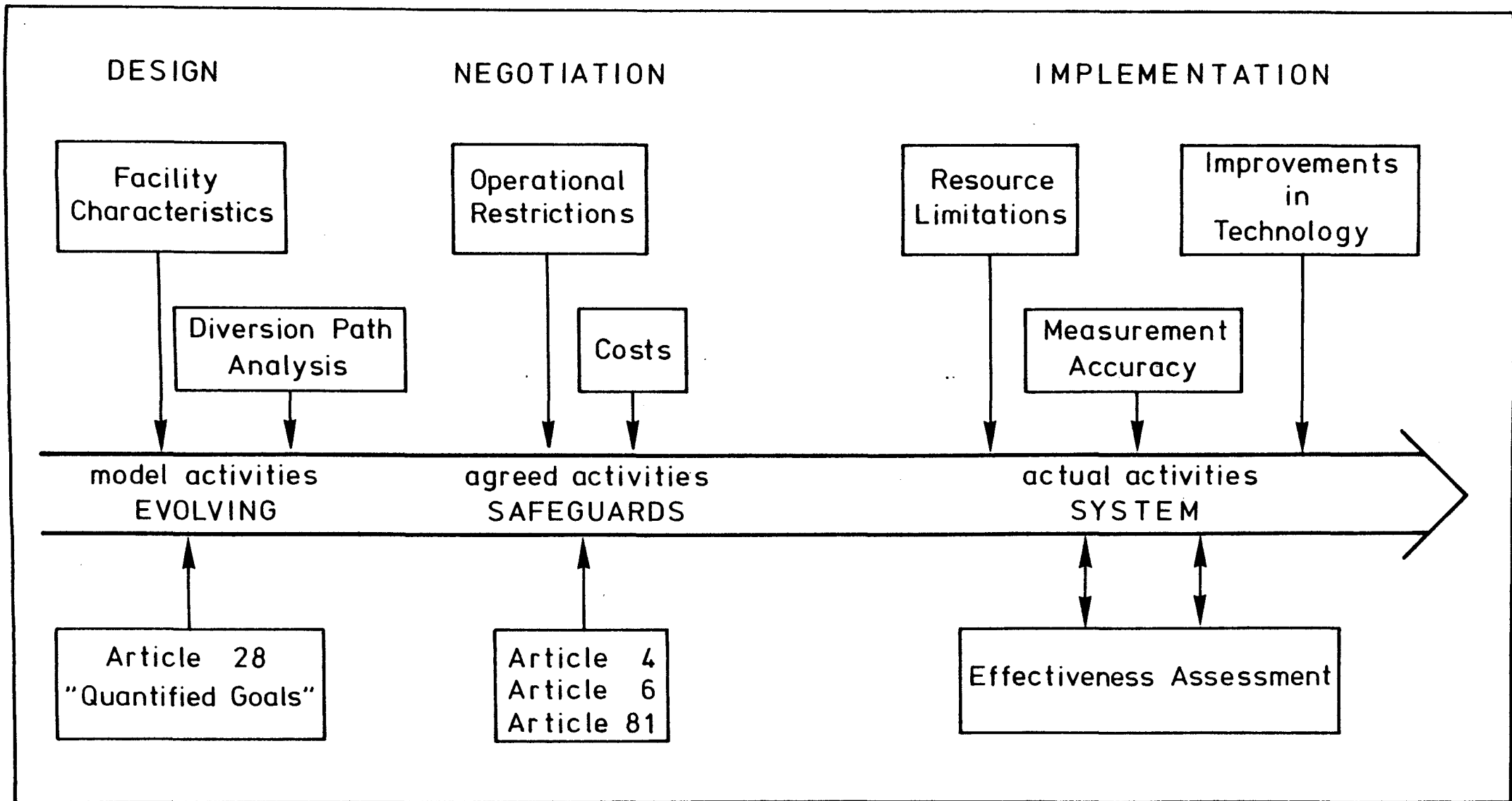


Figure 1 The three phases of safeguards systems evolution

Bei einer Effektivitätsbetrachtung ist daher nach unserer Ansicht genau zu trennen zwischen der Effektivität von Maßnahmen innerhalb eines vorgegebenen Rahmens und der Effektivität des Rahmens selbst. Eine Vermischung dieser beiden Aspekte stellt die Gültigkeit des Rahmens selbst infrage.

Es ist das wesentliche Defizit bereits in der Grundkonzeption von SEAM, daß der in dieser Phase durchgeführte notwendige Prozeß des Ausbalancierens der konkurrierenden Zielsetzungen nicht berücksichtigt wird. Dieser Abstimmungsprozeß ist das wesentliche Moment für die politische Akzeptanz von Safeguards und wesentlicher Bestandteil des rechtlichen Rahmens, in dem Safeguards durchgeführt werden kann. Eine Methode, die den umfassenden Anspruch der Effektivitätsbewertung von Safeguards erhebt aber die Notwendigkeit des Ausgleichs gleichberechtigter Interessen ignoriert, setzt sich damit zwangsläufig dem Verdacht aus, das Element der Kontrolle unter Umgehung des Abstimmungsprozesses zu Lasten der Betreiberinteressen erweitern zu wollen. Ein solches Vorgehen muß Gegenreaktionen in Form von sinkender Akzeptanz von Safeguards provozieren.

Die dritte Phase ist die praktische Durchführung der Maßnahmen. In dieser Phase werden Randbedingungen wirksam, wie z.B. begrenzte Ressourcen, Verbesserungen in der Technologie, Änderungen in der Meßgenauigkeit etc.

Bei dem von der IAEO identifizierten Bedarf an methodischen Hilfsmitteln für diese Phase muß unterschieden werden zwischen Managementwerkzeugen und Hilfsmitteln zur Berichterstattung. Dabei werden sehr unterschiedliche Anforderungen an die Werkzeuge gestellt. Hilfsmittel zur Berichterstattung müssen sich beschränken auf das, was objektiv und eindeutig feststellbar ist. Managementwerkzeuge dagegen müssen die Flexibilität aufweisen, unterschiedliche Allocationsstrategien abbilden und ihre Auswirkungen transparent machen zu können. Obwohl sicherlich Zusammenhänge zwischen diesen beiden Bereichen bestehen, kann nicht davon ausgegangen werden, daß identische Instrumente einsetzbar sind.

4.3 Betrachtung des in SEAM zugrundegelegten Grundmodells der Überwachung

Das Safeguardssystem, wie es in INFCIRC 153 zugrundegelegt ist, basiert auf dem Prinzip der Prüfung (Revision).

Unter dem Begriff Prüfung versteht man die Durchführung eines Vergleichs mit anschließender Urteilsbildung /Peem78/. Der Vergleich erfordert mindestens zwei Vergleichsgrößen, die einander in geeigneter Form gegenübergestellt werden. Das Vergleichsergebnis ist dann Grundlage für die anschließende Urteilsbildung.

Es ist das Wesen der Prüfung, daß sie nicht in den zu prüfenden Prozeß selbst eingreift. Die Prüfung erfolgt durch eine externe Autorität im nachhinein und endet in einer Feststellung. Einwirkungen der Prüfung auf den zu prüfenden Prozeß sind nur indirekt gegeben, indem durch ihre Abschreckungswirkung die Prüfung präventiv auf Prozeßabweichungen einwirkt.

Das Grundmodell des Prüfungsverfahrens nach INFCIRC 153 ist ein zweistufiger Vergleich. Zunächst werden die vom Betreiber an die Behörde übermittelten Berichte (Reports) mit den Betreiberaufzeichnungen (Records) verglichen. Die Urteilsbildung erfolgt in der Feststellung, ob ausreichende Konsistenz und Übereinstimmung zwischen beiden Größen besteht oder nicht. Bei positivem Urteil wird in der zweiten Stufe der Wert des buchmäßigen Inventars verglichen mit dem tatsächlich vorhandenen Inventar. Die Urteilsbildung erfolgt hier mit Hilfe der MUF-Statistik und führt zu der Feststellung, ob signifikante MUF-Werte vorliegen oder nicht.

SEAM legt jedoch als Grundmodell nicht das Modell der externen Prüfung sondern ein Modell der Kontrolle (Alarm-Response) zugrunde. Im Gegensatz zur externen Prüfung ist es das Ziel der internen Kontrolle, rechtzeitig korrigierend in den betrachteten Prozess eingreifen zu können. In SEAM ist dieses Modell jedoch unvollständig, weil es nur Maßnahmen zur Erfassung von Abweichungen vorsieht und die anschließende Reaktion des Systems aus der Betrachtung ausklammert. Damit können die Auswirkungen

von Störgrößen registriert werden, ihre Natur (betriebsbedingt oder Abzweigung) jedoch nicht ermittelt werden. Ein solches System erlaubt nur dann eine direkte Aussage, wenn keine Abweichung registriert wurde.

In dem der Betrachtungsweise von SEAM zugrunde liegenden Alarm-Response Modell ist eine beobachtete Anomalie der Alarm. Die Response besteht dann in den follow-up Maßnahmen. SEAM betrachtet in seiner Bewertung nur die Alarmgenerierungsfähigkeit. Das Antwortverhalten des Systems bleibt ohne Berücksichtigung. Für SEAM besteht ein Safeguardssystem aus einem möglichst umfassenden Bündel von alarmgenerierenden Indikatoren. Die zweite, für die gewünschte Safeguardsaussage relevante Stufe, die Auflösung von Alarmen, kann mit SEAM derzeit nicht dargestellt und bewertet werden.

Bei den Alarm-Response-Systemen muß zwischen fast-response- und slow-response-Systemen unterschieden werden. Der Unterschied wirkt sich wesentlich auf die Möglichkeiten der Alarmauflösung aus. Besteht die Möglichkeit einer schnellen Antwort, so läßt sich in der Regel die alarmanlösende Ursache wegen der zeitlichen Nähe durch Einschätzung der Situation ermitteln. Für Safeguardsaufgaben können jedoch nur slow-response-Systeme eingesetzt werden. Hier ist ein wesentliches Kriterium, wie ein registrierter Alarm aufgelöst werden kann.

Durch den in SEAM zugrundegelegten Alarm-Response Ansatz zur Beschreibung von Safeguardssystemen wird bereits der Grundstein für zukünftige Konfliktpunkte gelegt. Eine Bewertung des Designs von Safeguardssystemen mit SEAM muß dazu führen, daß Safeguardsysteme entsprechend dem im Alarm-Response-Modell entworfen werden.

Bei diesen Systemen ergibt sich die Notwendigkeit, die Alarmauflösungsschwelle möglichst niedrig anzusetzen, um eine hohe Ansprechwahrscheinlichkeit zu erzielen. Dabei wird bewußt eine hohe Fehlalarmrate in Kauf genommen. Dies widerspricht jedoch der Forderung nach Minimierung der Betreiberbeeinträchtigung.

Um Kriterien für die Alarmauslösung definieren zu können, ist es weiter erforderlich, die möglichen Prozeßzustände in normale und anomale (Anomalien) einzuteilen. Dies schränkt zwangsläufig die Flexibilität in der Betriebsführung ein.

Das Alarm-Response-Modell ist anwendbar als Systemmodell für innerbetriebliche und innerstaatliche Kontrollsysteme, da diese mit den für einen wirksamen Einsatz notwendigen Attributen der internen Autorität und schnellen Reaktionsmöglichkeit ausgestattet sind. Für internationale Safeguardsmaßnahmen kann dagegen nur das Prüfungsmodell in Frage kommen, da dieses direkte Einwirkungen auf den Prozeß vermeidet und für eine Überprüfung im Nachhinein ausgelegt ist.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen diesen beiden Grundmodellen sind in Tab. 1 nochmals gegenüber gestellt.

Tab.1: Modelle der Überwachung

	Prüfung	Kontrolle
Prinzip	Vergleich und Urteilsbildung	Erfassung von Abweichungen (Alarm) und korrigierender Eingriff (Response)
Durchführung	externe Autorität	interne Autorität
Zeitbezug	im Nachhinein	prozessbegleitend
Einwirkungen	nur indirekt	direkt

Der Ausgangspunkt, Entdeckungswahrscheinlichkeiten von Anomalien als Grundlage zur Effektivitätsbewertung heranzuziehen, führt zu der Forderung, daß Safeguardssysteme so entworfen werden sollen, daß eine Abzweigung Anomalien hervorruft /McDa81/. Da Anomalien jedoch nicht nur durch Abzweigungen hervorgerufen werden und die Identifizierung der auslösenden Ursache unterschiedlich aufwendig

ist, müsste bei dieser Betrachtungsweise zunächst eine Bewertung dahingehend erfolgen, wie "effektiv" eine Anomalie für die gewünschte Safeguardsaussage ist. Dies betrifft den Aspekt, den wir bereits früher mit "Aussagewert" der Anomalie umschrieben haben.

Eine implizite Voraussetzung bei der Bewertung durch SEAM ist daher, daß für den betrachteten Abzweigungspfad, von allen möglichen Anomalien, bereits die effektivsten Anomalien ausgewählt wurden. Dieser Auswahlsschritt wird durch SEAM jedoch in keiner Weise unterstützt.

Weitere implizite Voraussetzungen für den Vergleich von unterschiedlichen Safeguardskonzepten oder Anlagen mit SEAM sind z.B.:

- Die Auswahl der betrachteten Abzweigungspfade muß als gleich angesehen werden können. D.h., es muß eine Aussage der folgenden Form möglich sein: Wenn eine Abzweigung erfolgt, wird sie mit $x\%$ Wahrscheinlichkeit über die betrachteten Abzweigungspfade erfolgen. Der Parameter x muß dann für die betrachteten Anlagen gleich sein. In SEAM wird ein Wert $x=100$ vorausgesetzt.
- Die Wahrscheinlichkeit und der Aufwand, anhand einer entdeckten Anomalie eine Abzweigung identifizieren zu können, müssen gleich sein. Nur dann sind alternative Anomalien vergleichbar.

Diese impliziten Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um überhaupt die Vergleichbarkeit von Safeguardssystemen mit SEAM zu ermöglichen. Diese Voraussetzungen werden in SEAM jedoch weder überprüft noch ausgewiesen. Wenn sie erfüllt sind, ist auch nur ein Vergleich hinsichtlich der Entdeckungswahrscheinlichkeit für einzelne Abzweigungspfade möglich.

Der nächste Schritt in SEAM, die Aggregation der Basiszahlen zu einem Gesamtwert, erfordert eine Prognose über das Verhalten eines Abzweigers. Hier enden nach unserem Verständnis die Möglichkeiten einer objektivierbaren technischen Betrachtung.

Die SEAM Methode stellt einen Versuch dar, nach der Quantifizierung der Größen "Rechtzeitigkeit" und "Signifikante Menge" ein Verfahren zu etablieren, mit dem die Entdeckungswahrscheinlichkeit als weitere Zielgröße quantifiziert werden soll.

Es ist einerseits nicht von der Hand zu weisen, daß auf der Managementebene quantifizierbare Größen benötigt werden, um rational begründete Entscheidungen treffen und die Zielerreichung messen zu können. Die Quantifizierung mit SEAM berücksichtigt jedoch nur einen Aspekt der ausgehandelten vertraglichen Grundlage. Wesentliche andere Vertragselemente werden bei dieser Betrachtung ausgeklammert.

Unsere hauptsächlichen Bedenken bezüglich SEAM gehen dahin, daß das, was sich zunächst als ein Hilfsmittel anbietet, sich über seinen engbegrenzten Nutzbereich hinaus verselbständigt und damit zu erheblichen unerwünschten Konsequenzen führen kann.

Bei der Charakterisierung der Effektivität durch eine Zahl wird eine Genauigkeit vorgetäuscht, die angesichts der Komplexität der Aufgabe mit dem angewendeten Verfahren nicht im Entferntesten erreicht werden kann. Wir halten daher die Messung der Effektivität in dieser Form nicht für eine Hilfestellung, sondern sehen darin im Gegenteil eine große Gefahrenquelle für mögliche Fehleinschätzungen.

5. Anforderungen an eine formale Beschreibung von Safeguards-systemen

Um mit formalen Methoden die Effektivität eines Safeguardssystems bestimmen zu können, ist zunächst zu prüfen, inwieweit ein Safeguardssystem überhaupt formal beschrieben werden kann. Für eine formale Abbildung eines Safeguardssystems halten wir die Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte für erforderlich:

1. Außer den Safeguardszielen in Art. 28 werden in INFCIRC 153 in Art. 29 auch die Maßnahmen zur Erreichung der Ziele aufgeführt. Dabei ist die als Maßnahme von grundlegender Bedeutung genannte Materialbilanzierung eindeutig als Prüfungsmaßnahme anzusehen. Als Grundprinzip sollte daher das Prinzip der Prüfung, d.h. Vergleich mit anschließender Urteilsbildung, zugrunde gelegt werden.

2. Ein Safeguardssystem ist nicht als ein Bündel von gleichrangigen technischen Maßnahmen anzusehen, sondern es existieren, wie bereits die Bezeichnung System impliziert, vielfältige Beziehungen zwischen den einzelnen Systemkomponenten. Die Aussage, ob eine Abzweigung stattgefunden haben könnte oder nicht, ist keine direkt meßbare Größe. Sie ist eine Schlußfolgerung aus einer Vielzahl von Einzelfeststellungen, die nach genau definierten Schlußregeln erfolgen muß.

Die Abbildung eines Safeguardssystems zum Zweck der Bewertung muß daher auch die Beziehungen zwischen den Systemkomponenten aufweisen. So sind z.B. ohne den Nachweis der Konsistenz von Records und Reports alle übrigen Safeguardsmaßnahmen sinnlos, da damit keine MUF-Analyse mehr möglich ist. Weiter müssen alle Komponenten der MUF Gleichung geprüft werden, um den Wert für MUF bestimmen zu können.

D.h., die erste fundamentale Feststellung die bei Entwurf, Implementierung und auch der Bewertung im Nachhinein getroffen werden muß, ist die Aussage, ob das System eine Feststellung über die Größe des MUF ermöglicht. Die formale Abbildung des Safeguards-

systems muß diese Prüfung ermöglichen. Eine Abbildung, die keine Funktionsprüfung erlaubt, sondern voraussetzt, daß nur funktionierende Systeme abgebildet werden, ist als ein generelles Planungshilfsmittel nicht akzeptierbar.

Das Safeguardssystem muß daher als System beschrieben und die existierenden relevanten Beziehungen zwischen Elementen müssen mit abgebildet werden.

3. Eine Vorbedingung dafür, mehrere Aspekte in einer formalen Gesamtbewertung berücksichtigen zu können, ist zunächst, daß diese Aspekte auch formal dargestellt werden können. Eine adäquate formale Abbildung der Einzelaspekte schafft erst die Voraussetzung dafür, eine Zielfunktion für die Gesamtbewertung aufstellen zu können. Ob eine Gesamtbewertung sinnvoll möglich ist, d.h., ob eine sinnvolle Zielfunktion überhaupt aufgestellt werden kann, kann erst dann beurteilt werden, wenn die Abbildungsmöglichkeiten für die zu berücksichtigenden Einzelaspekte näher untersucht wurden.

Die Beschreibung sollte alle wesentlichen Aspekte abbilden, d.h.:

- Vollständigkeit des Systems
- Entdeckungsfähigkeit
- Betreiberbeeinträchtigungen
- erforderlicher Aufwand

4. Ein Mangementhilfsmittel, das dazu dienen soll, knappe Ressourcen optimal zu verteilen, muß, wenn es kein eindeutiges Optimierungskriterium gibt, in der Lage sein, unterschiedliche Wertsetzungen und Strategien darstellen zu können.

Die Beschreibung muß daher transparent und flexibel sein. Unter Transparenz wird hier verstanden, daß die Bewertungsabläufe nachvollziehbar sein müssen und daß alle Annahmen und Randbedingungen explizit ausgewiesen werden.

Unter Flexibilität wird verstanden, daß es dem Benutzer möglich sein muß, seine Wertsetzungen und Prioritäten in der Beschreibung nachzubilden. Dies heißt z.B., daß das System Differenzierungen nach dem in Art. 81 INFCIRC 153 aufgeführten Kriterien erlauben muß.

6. Vorschlag für eine alternative Vorgehensweise

Bevor die Frage einer formalisierten Effektivitätsbewertung näher betrachtet werden kann, muß die Frage geklärt werden, inwieweit und wie vollständig ein Safeguardsystem überhaupt formal beschrieben werden kann. Nur wenn eine adequate formale Beschreibung aller bei der Effektivität zu berücksichtigenden Aspekte möglich ist, ist auch eine Bestimmung der Effektivität mit formalen Methoden möglich.

Unserer Meinung nach wird die Safeguardszielsetzung in einer für eine Überprüfung geeignetsten Form in Art. 30 INFCIRC 153 beschrieben:

"Der technische Abschluß der Nachprüfungen durch die Organisation erfolgt durch eine Erklärung, in der für jede Materialbilanzzone die für einen bestimmten Zeitraum nicht nachgewiesene Materialmenge unter Angabe der Genauigkeitsgrenzen für die angegebenen Mengen aufgeführt ist".

Für jede Materialbilanzzone wird eine Materialbilanz erstellt und der MUF ausgewiesen. Für die Auswertung von Materialbilanzen existieren statistisch abgesicherte und einvernehmlich akzeptierte Verfahren. Zentraler Ausgangspunkt für eine formale Abbildung kann daher nach unserer Ansicht nur die Materialbilanzierung sein.

6.1 Darstellung des Verfahrens

Ausgehend vom Schema der Bilanzierung läßt sich jedes Safeguardsystem als eine Sammlung von Fakten und Schlußregeln darstellen. Die bei jeder Inspektion gewonnenen Feststellungen gehen als zusätzliche Fakten in die Abbildung ein und ermöglichen bestimmte Schlußfolgerungen und Aussagen über das System.

Wir schlagen als Hilfsmittel zur formalen Beschreibung eines Safeguardsystems die Methode der Prädikatenlogik vor. Das Grund-

prinzip der Prüfung (Vergleich und Urteilsbildung) kann damit durch eine logische Implikation (IF A AND B THEN C) abgebildet werden. Die zu vergleichenden Größen im Prüfungsprozeß (Objekte) sind Reports, Records und physikalisches Inventar.

Durch den Prozeß der Prüfung (Inspektionsaktivität) werden diesen Objekten Attribute (Prädikate) zugewiesen. Prädikate sind z.B. für Reports und Records "consistent" und für Kernmaterialinventar "inspected". Anhand eines vorgegebenen logischen Schlußschemas (vergl. Bild 2) kann dann ermittelt werden, welche Aussagen über die Objekte möglich sind. Dieses Schlußschema bildet ab, welche Prädikate die einzelnen Objekte haben müssen (Aussagen) und wie die Einzelaussagen miteinander verknüpft werden müssen, um eine Aussage über das Gesamtsystem zu ermöglichen. So müssen z.B. alle Reports und Records "consistent" und das gesamte Kernmaterialinventar "inspected" sein, um eine Aussage über den MUF des Gesamtsystems zu erlauben. Dieses logische Schlußschema erlaubt damit die Prüfung, ob das abgebildete Safeguardssystem vollständig und in sich konsistent ist.

Betrachten wir zunächst den Problembereich der Berichterstattung. Aufgabe der Berichterstattung ist es, eine Feststellung zu treffen, ob die Überwachungsziele erreicht wurden oder nicht. Dabei muß eine Beschränkung auf Tatsachen erfolgen, die objektiv und eindeutig belegbar sind. Die IAEA gewinnt ihre Ausgangsdaten durch die Prüfung von Berichten, die vom Betreiber übermittelt werden und durch Inspektionen. Feststellungen müssen sich auf diese Fakten beschränken und auf Schlußfolgerungen, die aus diesen Fakten logisch abgeleitet werden können. Die Schlußfolgerungen müssen transparent und nachvollziehbar sein und dürfen keine strittigen subjektiven Wertsetzungen enthalten.

Ausgangspunkt der Betrachtung ist das in den anlagenspezifischen Anhängen (Facility Attachements) festgelegte Safeguardssystem einer Anlage. Dies ist die einvernehmlich akzeptierte konkrete Grundlage zur Durchführung von Safeguardsmaßnahmen in dieser Anlage. Ausgehend von dem Grundmodell der Prüfung werden zunächst die Prüfungsobjekte beschrieben und dargestellt. Hier können

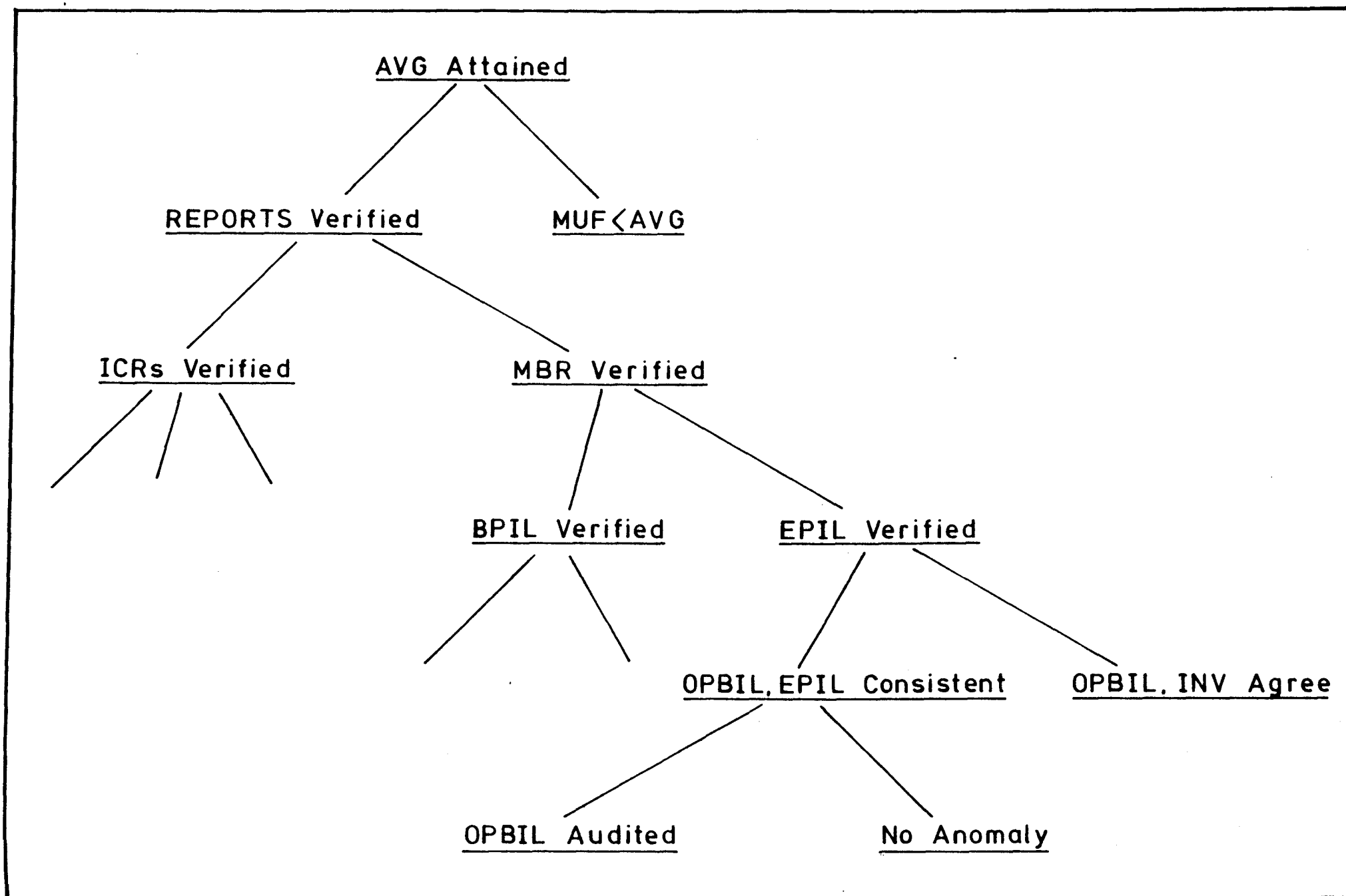


Figure 2 Problem space for effectiveness assessment

zunächst drei Objektklassen unterschieden werden: Material, Berichte und Betreiberaufzeichnungen.

Um konkrete Prüfungsmaßnahmen auf die zu prüfenden Objekte anwenden zu können, müssen diese Objekte in handhabbare Größen aufgliedert werden. Ausgangspunkt ist hierbei die Objektklasse Kernmaterial. Das Kernmaterial wird strukturiert entsprechend den für die betreffende Anlage vereinbarten Schlüsselmeßpunkten für Bestände und Bewegungen. Diese Struktur (vergl. Beispiele) ist auch in den Berichten und Betreiberaufzeichnungen vorzufinden und ermöglicht daher eine einfache Zuordnung. Das Material kann dann bei Bedarf nach weiteren Kriterien noch detaillierter strukturiert werden, wie z.B. nach Materialart und Materialort. Für die Materialflüsse ergibt sich eine weitere Unterteilung nach den einzelnen Überwachungsperioden. Die beiden anderen Objektklassen, Berichte und Betreiberaufzeichnungen, werden in gleicher Weise strukturiert. Damit wird eine direkte Korrespondenz der einzelnen in einem Prüfungsprozeß zu vergleichenden Größen erreicht.

Der nächste Schritt besteht darin, für jedes Element der Objektstrukturen die im Safeguardssystem vereinbarten Prüfprozeduren darzustellen. Diese Prüfprozeduren können zunächst nach Buchprüfungen und Materialverifizierung unterschieden werden. Bei der Buchprüfung werden in der ersten Stufe die Records der Betreiberbuchführung miteinander verglichen. Dieser Prüfungsprozeß wird abgeschlossen mit der Urteilsbildung drarüber, ob die Betreiberbuchführung konsistent ist oder nicht. Die Urteilsbildung wird dadurch dokumentiert, daß den einzelnen Objektelementen ein Prüfprädikat zugewiesen wird. Dieses Prüfprädikat hat rein qualitativen Charakter, d.h. es werden nur die Zustände "Prüfungsergebnis positiv" und "Prüfungsergebnis negativ" unterschieden. Wurden im Safeguardsentwurf alternative Möglichkeiten vorgesehen ein Objektelement zu prüfen, z.B. Inventar im Spent-Fuel-Pool eines LWR, so werden auch alle möglichen Maßnahmen dargestellt.

Die durch die Inspektionen, d.h. Prüfung und Urteilsbildung ermittelten Daten, bilden die Faktenbasis des Systems. In einem zweiten Teil des Systems werden dann die Schlußregeln definiert,

Beispiele für Objektstrukturen beim LWR

Struktur "Nuclear Material"

NUCMAT	Nuclear Material
MUF	Material Unaccounted For
SRD	Shipper-Receiver-Difference
AVG	Accountancy Verification Goal
KMPMAT	KMP Material
INV	Inventory
FF	Fresh Fuel
CF	Core Fuel
SF	Spent Fuel
FLOWMAT	Flow Material
RECFF	Fresh Fuel Receipt
RECFF01	Fresh Fuel Receipt in 1. Period
RECFF12	" " " in 2. Period
RECFF23	" " " in 3. Period
RECFF34	" " " in 4. Period
SHPSF	Spent Fuel Shipment
SHPSF01	Spent Fuel Shipment in 1. Period
SHPSF12	" " " in 2. Period
SHPSF23	" " " in 3. Period
SHPSF34	" " " in 4.. Period

Struktur "Reports"

REPORTS	Reports
ICR	Inventory Change Report
RECEIPTS	Receipts
RECPT01	Receipts in 1. Period
RECPT12	" in 2. Period
RECPT23	" in 3. Period
RECPT34	" in 4. Period
SHIPMENTS	Shipments
SHPMNT01	" in 1. Period
SHPMNT12	" in 2. Period
SHPMNT23	" in 3. Period
SHPMNT34	" in 4. Period
MBR	Material Balance Report
BPIL	Beginning Physical Inventory Listing
BPIL FF	" " " " Fresh Fuel
BPIL CF	" " " " Core Fuel
BPIL SF	" " " " Spent Fuel
EBIL	Ending Book Inventory
SRD	Shipper-Receiver-Difference
AEBIL	Adjusted Ending Book Inventory Listing
EPIL	Ending Physical Inventory Listing
EPIL FF	" " " " Fresh Fuel
EPIL CF	" " " " Core Fuel
EPIL SF	" " " " Spent Fuel
MUF	Material Unaccounted For

Beispiele für Objektstrukturen beim LWR

Struktur "records"

RECORDS	Records
CMR	Crane Movement Record
STDS	State Transfer Dokuments
STDS01	State Transfer Dokuments for 1. Period
STDS12	" " " for 2. Period
STDS23	" " " for 3. Period
STDS34	" " " for 4. Period
OPBIL	Operators Book Inventory Listing
POWOPREC	Power Records

Struktur "Zeitpunkte"

T	Time
BT	Beginning Time
BPIVT	Beginning Physical Inventory Verification Time
INT1	Interim Time 1
INT2	" " 2
INT3	" " 3
EPIVT	Ending Physical Inventory Verification Time
IT	Interim Time
BPIVT	Beginning Physical Inventory Verification Time
INT1	Interim Time 1
INT2	" " 2
INT3	" " 3
EPIVT	Ending Physical Inventory Verification Time
ET	Ending Time
BPIVT	Beginning Physical Inventory Verification Time
INT1	Interim Time 1
INT2	" " 2
INT3	" " 3
EPIVT	Ending Physical Inventory Verification Time

Struktur "Zeitintervalle"

TINT	Time Intervals
BALPER	Balance Period
DTIMFF	Detection Time Fresh Fuel
DTINSF	Detection Time Spent Fuel
INSPINT	Inspection Interval

Struktur "CS-Devices"

CSDEVICE	C/S-Devices
CSONFF	C/S on Fresh Fuel
CSONCF	C/S on Core Fuel
SEAL1	SEAL on Reactor Core
CAMERA1	Camera on Reactor Core
CSONSF	C/S on Spent Fuel
CAMERA2	Camera on Spent Fuel Pont

Struktur "Safeguardsziele"

GOALS	Safeguards Goals
AVG	Accountancy Verification Goal
DTIMFF	Detection Time Goal Fresh Fuel
DTIMSF	" " " Spent Fuel

die festlegen, welche logischen Schlüsse aus den durch Inspektion festgestellten Fakten möglich sind. Das Schlußschema kann z.B. in Form eines Ereignisbaumes dargestellt werden und weist transparent aus, wie die Feststellungen der IAEO zustande kommen. In dieser Feststellung werden die Zustände unterschieden:

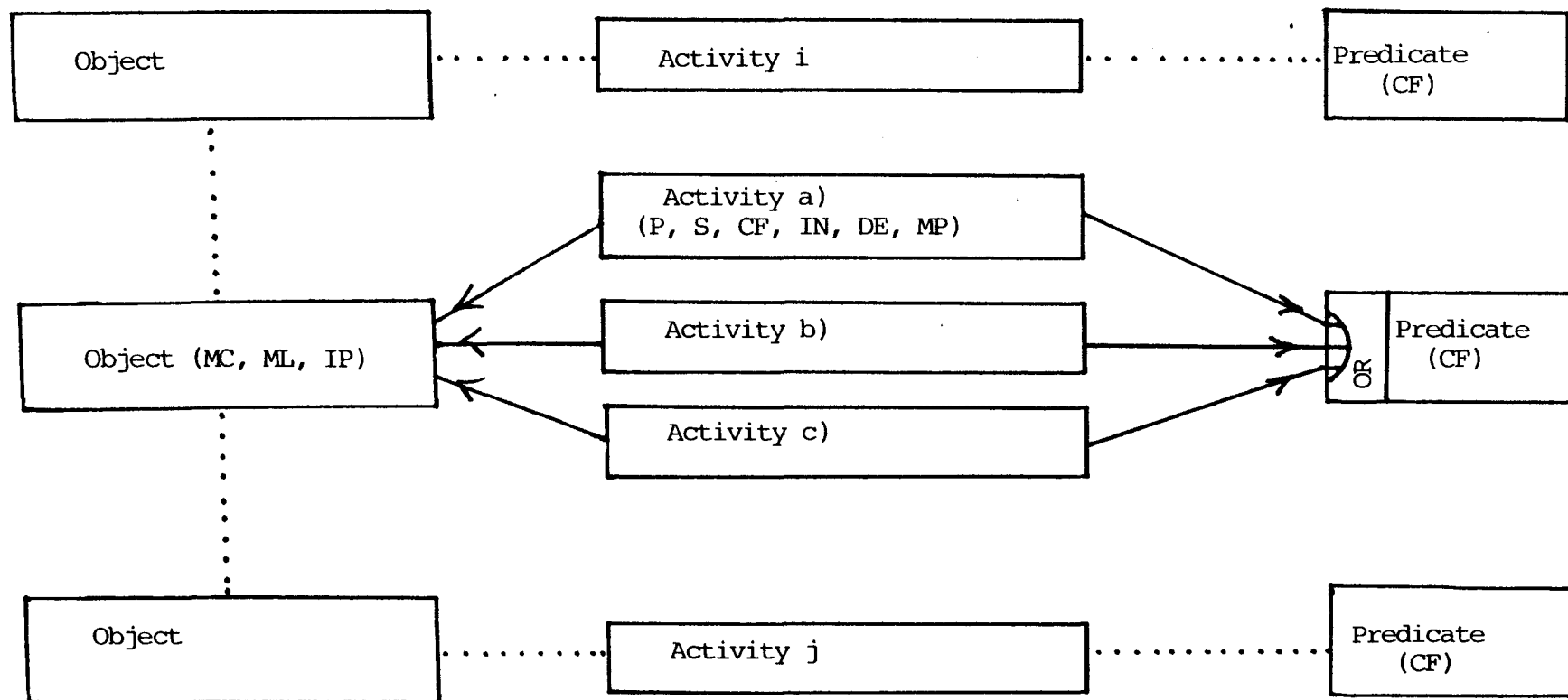
- Ziele erreicht
- Ziele teilweise erreicht
- Ziele nicht erreicht.

Dabei ist ggf. noch eine weitere Angabe darüber möglich, welche Prüfungen nicht durchgeführt wurden und weshalb sie nicht durchgeführt wurden, z.B. wegen fehlender Inspektionskapazitäten, wegen technischem Versagen von Überwachungs- oder Meßeinrichtungen oder wegen nicht aufzulösender Unstimmigkeiten im Prüfungsprozeß.

Im Anhang sind als Beispiel eine Faktenbasis und ein Schlußschema in der Sprache DEDUC /Müll77/ dargestellt. Sie geben eine Vorstellung davon, wie die vorgeschlagene Alternative zu SEAM formalisiert werden kann.

Für Managementbelange können zur Abbildung der verschiedenen Aspekte eines Safeguardssystems (Entdeckungsfähigkeit, Betreiberbeeinträchtigungen, Inspektionsaufwand etc), bei der Zuweisung der Prädikate zu den Objekten weitere Parameter mitgeführt werden. Diese Parameter charakterisieren die einzelnen Inspektionsaktivitäten hinsichtlich dieser Aspekte. So kann z.B. für jede Inspektionsaktivität ein Vertrauensfaktor, ein Aufwandswert und ein Beeinträchtigungswert vorgesehen werden. Mit diesen Daten wäre es dann z.B. möglich, den Gesamtvertrauensfaktor für die MUF Aussage und Gesamtwerte für Inspektionsaufwand und Betreiberbeeinträchtigungen zu bestimmen (vergl. Bild 3).

Die geforderte Transparenz des Systems ist durch das logische Schlußschema gegeben. Hier kann im Detail nachvollzogen werden, wie einzelne Aussagen zustande kommen.



Objects: Records
 Reports
 Material

MC: Material Classes (FF, SF)
ML: Material Location (KMP)
IP: Inspection Period

P: Performed Y/N
S : Successfull Y/N
CF: Confidence Faktor
IN: Intruisivness Value
DE: Device Value
MP: Manpower Value

Predicates: audited
 consistent
 agree
 verified

CF: Confidence Faktor

FIG. 3

Die erforderliche Flexibilität des Systems wird durch Detaillierung und Klassenbildung bei den Objekt-Strukturen erreicht. So kann z.B. das Kernmaterialinventar nach Art und Ort detailliert und das gesamte Safeguardssystem in abgeschlossene Teilsysteme, bezogen auf einzelne Materialkategorien, Materialorte und Inspektionsperioden aufgegliedert werden. Damit ist es z.B. möglich, bei knappen Ressourcen eine gezielte Allokation auf einzelne Teilsysteme durchzuspielen, um die Auswirkungen verschiedener Verteilungsstrategien darzustellen.

6.2 Abgrenzung gegenüber SEAM

Ausgangspunkt der Darstellung des Safeguardssystems ist die Materialbilanzierung als Prüfungsprozeß. Die zu vergleichenden Größen, Reports, Records und Inventar werden soweit detailliert und strukturiert, daß ihnen konkrete Inspektionsmaßnahmen zugeordnet werden können. Bei dieser Strukturierung wird auch der Zeitablauf des Prüfungsprozesses berücksichtigt, indem bei den Materialflüssen unterschieden wird zwischen den einzelnen Inspektionsperioden und der gesamten Bilanzperiode. Ziel dieser Strukturierung ist es, den Gesamtkomplex so in Einzelgrößen aufzugliedern, daß sich einzelne Prüfvorgänge ergeben, die direkt konkreten Inspektionsmaßnahmen zugeordnet werden können.

Die Urteilsbildung bei den einzelnen Prüfvorgängen erfolgt dann in der Zuweisung des Prädikates an die geprüften Objekte. Kann eine Einzelprüfung auf unterschiedliche Weise durchgeführt werden, z.B. durch Accountancy- oder CS-Maßnahmen, so werden beide Möglichkeiten im System als alternativ vereinbart. Mit beiden Verfahren kann dann dem geprüften Objekt das Prädikat zugewiesen werden. Auf diese Weise ist es z.B. möglich, zu allen CS-Maßnahmen im Safeguardssystem die entsprechenden back up-Maßnahmen zu vereinbaren. Es ist ebenso möglich, zu jeder Inspektionsmaßnahme Alternativen vorzusehen, die sich in ihren Parametersätzen (Vertrauensfaktor, Aufwand und Betreiberbeeinträchtigungen) unterscheiden, z.B. unterschiedliche Stichprobengrößen mit daraus resultierenden unterschiedlichen Vertrauensfaktoren und Aufwand-

und Beeinträchtigungswerten.

Dieses Vorgehen würde aus unserer Sicht gegenüber dem SEAM-Ansatz folgende Vorteile aufweisen:

1. Das Safeguardssystem wird als ein System abgebildet und erlaubt eine logische Funktionsprüfung.
2. Die Struktur des Systems erlaubt es, zu jeder Inspektionsmaßnahme back up-Maßnahmen zu vereinbaren.
3. Das System kann in abgeschlossene Teilsysteme aufgegliedert werden und ermöglicht damit eine sinnvolle Allokation knapper Ressourcen nach unterschiedlichsten Kriterien.
4. Zu jeder Maßnahme können alternative Maßnahmen mit unterschiedlicher Intensität und unterschiedlichem Aufwand vereinbart werden. Damit sind zusätzliche Möglichkeiten gegeben, verschiedenste Strategien der Ressourcenallokation nachzubilden.
5. Durch die Zuweisung von Parametersätzen zu jeder Inspektionsmaßnahme können verschiedene Aspekte des Safeguardssystems abgebildet werden.
6. Die subjektiven Momente bei der Abbildung des Safeguardssystems werden in einem Vorgang der Zuweisung der Parametersätze zu den Safeguardsmaßnahmen zusammengefaßt und bleiben damit transparent. Sie werden explizit ausgewiesen und nicht in einer Vielzahl von Randbedingungen versteckt.
7. Die Parametersätze der Inspektionsaktivitäten ermöglichen eine formalisierte Gesamtbewertung des Safeguardssystems. Dazu muß jedoch eine Zielfunktion definiert werden, die die Beiträge der einzelnen Parameter zum Gesamtzielwert festlegt.

7. Zusammenfassung

Die Problematik der Bewertung von Safeguardseffektivität wird am Beispiel der SEAM Methode analysiert. Es zeigt sich, daß diese Methode inhärente Schwächen in sich birgt, die eine Quantifizierung der Effektivität fraglich erscheinen lassen.

Es wird eine Alternative vorgeschlagen, die eine qualitative Bewertung vorzieht und folgende Vorteile hat:

- Die fundamentale Rolle der Kernmaterialbilanzierung wird bestätigt.
- Indiz für die Effektivität von Safeguards ist die Verifikation der Präsenz des Kernmaterials und nicht die indirekte Erfassung von Anomalien.
- Das Verständnis des Begriffes Effektivität beinhaltet Vorstellungen aller Partner des Kontrollabkommens.
- Aussagen des Safeguardssystems können klar umrissen sowie definiert werden und basieren nicht auf der Analyse von subjektiven Abzweigungsuntersuchungen.

8. Literaturverzeichnis

/Grue81/

Gruemm, H., et al.:
"IAEA Safeguards Assessments"
INMM Proceedings, 1981

/Grue80/

Gruemm, H.:
"Designing IAEA Safeguards Approaches"
INMM Proceedings, 1980

/McDa81/

McDaniel, T.L., et al.:
"Case Study Application of the IAEA Safeguards Assessment
Methodology to a Pressurized Water Reactor"
INMM Proceedings, 1981

/Brow83/

Brown, R.V., et al.:
"Decision Analysis for Safeguards Effectiveness Assessment"
V. ESARDA Symposium, 1983

/Stein83/

Stein, G., et al.:
"Safeguards Effectiveness Criteria and Safeguards
Efficiency"
INMM Proceedings, 1983

/Peem78/

Peemöller, V.H.:
"Praktisches Lehrbuch Controlling und betriebliche Prüfung"
Verlag moderne Industrie, 1978

/Müll177/

Müller-Reissmann, K.F.; Rechemann, F.:
"Cognitive Systems Analysis: An Interactive Programm for the
Modelling of Deduction"
in: "Concepts and Tools of Computer-assisted Policy
Analysis"
Editor H. Bossel, Birkhäuser Verlag 1977

/IAEA80/

IAEA (Hrsg.):
"IAEA Safeguards Glossary"
IAEA/SG/INF/1, 1980

/IAEA00/

IAEA (Hrsg.):
"The Structure and Content of Agreements between the Agency
and States Required in Connection with the Treaty on the
Non-Proliferation of Nuclear Weapons."
INFCIRC/153

A N H A N G

ANHANG

The following conventions were chosen for assigning predicates to the objects listed on pp 34,35 of the text. Objects are in brackets.

(GOALS) can be ATTAINED between times (BT) and (ET).
ATTAINED(GOALS,BT,ET)

(NUCMAT) can EXIST at some (T).
EXIST(NUCMAT,T)

(REPORTS) can be VERIFIED for the current (BALPER).
VERIFIED(REPORTS,BALPER)

(RECORDS) can be RELEVant to (NUCMAT) at some (T).
RECMREL(RECORDS,NUCMAT,T)

(REPORTS) can be RELEVant to (NUCMAT) at some (T).
REPMREL(REPORTS,NUCMAT,T)

(RECORDS) can be RELEVant to (REPORTS) at some (T).
RRREL(RECORDS,REPORTS,T)

A (CSDEVICE) can be RELEVant to (INV) at some(T).
CSREL(CSDEVICE,INV,T)

(RECORDS) can be AUDITed at some (T).
AUDIT(RECORDS,T)

(NUCMAT) can be INSPECTed at some(T).
INSPECT(NUCMAT,T)

A (CSDEVICE) can be CHECKed at some (T).
CHECK(CSDEVICE,T)

(RECORDS) and (REPORTS) can be CONSisTant at some (T).
CONSTNT(RECORDS,REPORTS,T)

(RECORDS) and (NUCMAT) can AGREE at some (T).
AGREE(RECORDS,NUCMAT,T)

C/S measures on (INV) can be SUCCesSful from (BT) to (ET).
SUCCS(INV,BT,ET)

An amount of (NUCMAT) can be Less than or Equal to another amount of (NUCMAT).
LE(NUCMAT,NUCMAT)

One (TINT) can be Less Than some other (TINT).
LT(TINT,TINT)

One (T) can be Less Than some other (T).
LT(T,T)

(NUCMAT) can be Item Counted at some time (T).
IC(NUCMAT,T)

(NUCMAT) can be Non-Destructively Assayed at some (T).
NDA(NUCMAT,T)

(NUCMAT) can be IDENTified at some (T).
IDENT(NUCMAT,T)

An ANOMaly can arise between (RECORDS) and (REPORTS) at some (T).
RRANOM(RECORDS,REPORTS,T)

An ANOMaly can arise between (RECORDS) and (NUCMAT) at some (T).
RMANOM(RECORDS,NUCMAT,T)

An ANOMaly can arise for a (CSDEVICE) over an interval (BT) to (ET).
CSANOM(CSDEVICE,BT,ET)

Intermediate Predicates (introduced to speed up deduction):
BPILVFD,EPILVFD,RECVFDij,SHPVFDij,RECVFD,SHPVFD,ICRSVFD,REPSVFD,SRDVFD

```

|BASE IMPLICATIONS AND PREMISES FOR LWR KNOWLEDGE MODULE|
|*****|
|*****|
|* MAIN IMPLICATIONS *|
|*****|
IF REPSVFD(BALPER) AND LE(MUF,AVG) THEN ATTAINED(AVG,BPIVT,EPIVT);
IF BPILVFD(BALPER) AND EPILVFD(BALPER) AND ICRSVFD(BALPER)
  THEN REPSVFD(BALPER);
IF VERIFIED(BPILFF,BALPER) AND VERIFIED(BPILCF,BALPER) AND
  VERIFIED(BPILSF,BALPER) THEN BPILVFD(BALPER);
IF VERIFIED(EPILFF,BALPER) AND VERIFIED(EPILCF,BALPER) AND
  VERIFIED(EPILSF,BALPER) THEN EPILVFD(BALPER);
IF VERIFIED(RECPT01,BALPER) AND VERIFIED(RECPT12,BALPER)
  THEN RECVFD02(BALPER);
IF VERIFIED(RECPT23,BALPER) AND VERIFIED(RECPT34,BALPER)
  THEN RECVFD24(BALPER);
IF RECVFD02(BALPER) AND RECVFD24(BALPER) THEN RECVFD(BALPER);
IF VERIFIED(SHPMNT01,BALPER) AND VERIFIED(SHPMNT12,BALPER)
  THEN SHPVFD02(BALPER);
IF VERIFIED(SHPMNT23,BALPER) AND VERIFIED(SHPMNT34,BALPER)
  THEN SHPVFD24(BALPER);
IF SHPVFD02(BALPER) AND SHPVFD24(BALPER) THEN SHPVFD(BALPER);
IF RECVFD(BALPER) AND SHPVFD(BALPER) THEN ICRSVFD(BALPER);
|*****|
|* VERIFIED *|
|*****|
IF REPMREL(REPORTS,KMPMAT,T) AND CNSTNT(RECORDS,REPORTS,T)
  AND AGREE(RECORDS,KMPMAT,T) THEN VERIFIED(REPORTS,BALPER);
|*****|
|* CNSTNT *|
|*****|
IF RRREL(RECORDS,REPORTS,T) AND AUDIT(RECORDS,T)
  AND NO RRANOM(RECORDS,REPORTS,T) THEN
  CNSTNT(RECORDS,REPORTS,T);
|*****|
|* AGREE *|
|*****|
IF RECMREL(RECORDS,KMPMAT,T) AND INSPECT(KMPMAT,T)
  AND NO RMANOM(RECORDS,KMPMAT,T) THEN
  AGREE(RECORDS,KMPMAT,T);
|*****|
|* INSPECT *|
|*****|
IF NO EXIST(KMPMAT,T) THEN INSPECT(KMPMAT,T);
IF IC(KMPMAT,T) AND NDA(KMPMAT,T) THEN INSPECT(KMPMAT,T);
IF IC(CF,T) AND IDENT(CF,T) THEN INSPECT(CF,T);
IF IC(SF,T) AND IDENT(SF,T) THEN INSPECT(SF,T);
IF IC(SHPSF,T) AND IDENT(SHPSF,T) THEN INSPECT(SHPSF,T);
|*****|
|* SUCCS *|
|*****|
IF CSREL(CSDEVICE,INV,BT) AND CHECK(CSDEVICE,ET) AND
  NO CSANOM(CSDEVICE,BT,ET) THEN
  SUCCS(INV,BT,ET);
|*****|
|* C/S LOGIC *|
|*****|
IF SUCCS(INV,BT,IT) AND SUCCS(INV,IT,ET) THEN
  SUCCS(INV,BT,ET);
IF IC(INV,BT) AND SUCCS(INV,BT,ET) THEN IC(INV,ET);
IF NDA(INV,BT) AND SUCCS(INV,BT,ET) THEN NDA(INV,ET);
IF IDENT(INV,BT) AND SUCCS(INV,BT,ET) THEN
  IDENT(INV,ET);

```

```
*****
* DTIMSF *
*****
IF VERIFIED(SHPMNT01,BALPER)
  AND AGREE(OPBIL,CF,INT1) AND AGREE(OPBIL,SF,INT1) THEN
  ATTAINED(DTIMSF,BPIVT,INT1);
IF VERIFIED(SHPMNT12,BALPER)
  AND AGREE(OPBIL,CF,INT2) AND AGREE(OPBIL,SF,INT2) THEN
  ATTAINED(DTIMSF,INT1,INT2);
IF VERIFIED(SHPMNT23,BALPER)
  AND AGREE(OPBIL,CF,INT3) AND AGREE(OPBIL,SF,INT3) THEN
  ATTAINED(DTIMSF,INT2,INT3);
IF VERIFIED(SHPMNT34,BALPER)
  AND AGREE(OPBIL,CF,EPIVT) AND AGREE(OPBIL,SF,EPIVT) THEN
  ATTAINED(DTIMSF,INT3,EPIVT);
IF ATTAINED(GOALS,BT,IT) AND ATTAINED(GOALS,IT,ET)
  THEN ATTAINED(GOALS,BT,ET);
*****
* RELEVANCE PREMISES *
*****
PREM RRREL(STDS01,SHPMNT01,INT1),RRREL(STDS01,RECPT01,INT1);
PREM RRREL(STDS12,SHPMNT12,INT2),RRREL(STDS12,RECPT12,INT2);
PREM RRREL(STDS23,SHPMNT23,INT3),RRREL(STDS23,RECPT23,INT3);
PREM RRREL(STDS34,SHPMNT34,EPIVT),RRREL(STDS34,RECPT34,EPIVT);
PREM RRREL(OPBIL,BPIL,BPIVT),RRREL(OPBIL,EPIL,EPIVT);
PREM CSREL(CSONFF,FF,T),CSREL(CSONCF,CF,T),
  CSREL(CSONSF,SF,T);
PREM RECMREL(STDS01,RECFF01,INT1),RECMREL(STDS01,SHPSF01,INT1);
PREM RECMREL(STDS12,RECFF12,INT2),RECMREL(STDS12,SHPSF12,INT2);
PREM RECMREL(STDS23,RECFF23,INT3),RECMREL(STDS23,SHPSF23,INT3);
PREM RECMREL(STDS34,RECFF34,EPIVT),RECMREL(STDS34,SHPSF34,EPIVT);
PREM RECMREL(OPBIL,INV,T);
PREM REPMREL(BPILFF,FF,BPIVT);
PREM REPMREL(BPILCF,CF,BPIVT);
PREM REPMREL(BPILSF,SF,BPIVT);
PREM REPMREL(EPILFF,FF,EPIVT);
PREM REPMREL(EPILCF,CF,EPIVT);
PREM REPMREL(EPILSF,SF,EPIVT);
PREM REPMREL(RECPT01,RECFF01,INT1),REPMREL(SHPMNT01,SHPSF01,INT1);
PREM REPMREL(RECPT12,RECFF12,INT2),REPMREL(SHPMNT12,SHPSF12,INT2);
PREM REPMREL(RECPT23,RECFF23,INT3),REPMREL(SHPMNT23,SHPSF23,INT3);
PREM REPMREL(RECPT34,RECFF34,EPIVT),REPMREL(SHPMNT34,SHPSF34,EPIVT);
```

```
| TEST PREMISES FOR LWR KNOWLEDGE MODULE |
|*****|
PREM VERIFIED(BPIL,BALPER); | INITIAL INVENTORY WAS VFD|
|*****|
| FIRST INTERIM INSPECTION|
|*****|
PREM AUDIT(OPBIL,INT1), | OPERATOR RECORDS AUDITED|
  AUDIT(STDS01,INT1);
PREM NO EXIST(RECFF01,INT1), | NO RECEIPTS OR SHIPMENTS|
  NO EXIST(SHPSF01,INT1); | TOOK PLACE AND THIS WAS |
PREM NO RRANOM(STDS01,RECPT01,INT1), | CORRECTLY REFLECTED IN |
  NO RRANOM(STDS01,SHPMNT01,INT1); | RECORDS AND REPORTS |
PREM NO RMANOM(STDS01,RECFF01,INT1),
  NO RMANOM(STDS01,SHPSF01,INT1);
PREM IC(CF,INT1),IDENT(CF,INT1); | CORE FUEL WAS ACCESSIBLE AND|
| WAS INSPECTED|
PREM IC(SF,INT1),IDENT(SF,INT1); | DITTO FOR SPENT FUEL POND|
PREM NO RMANOM(OPBIL,CF,INT1) 95; | OPBIL AGREES WITH MATERIAL|
PREM NO RMANOM(OPBIL,SF,INT1) 95; | 95% STATISTICAL SAMPLING|
|*****|
| SECOND INTERIM INSPECTION|
|*****|
PREM AUDIT(OPBIL,INT2), | OPERATOR RECORDS AUDITED|
  AUDIT(STDS12,INT2);
PREM NO EXIST(RECFF12,INT2), | NO RECEIPTS OR SHIPMENTS|
  NO EXIST(SHPSF12,INT2); | TOOK PLACE AND THIS WAS |
PREM NO RRANOM(STDS12,RECPT12,INT2), | CORRECTLY REFLECTED IN |
  NO RRANOM(STDS12,SHPMNT12,INT2); | RECORDS AND REPORTS |
PREM NO RMANOM(STDS12,RECFF12,INT2),
  NO RMANOM(STDS12,SHPSF12,INT2);
PREM CHECK(SEAL1,INT2), | C/S DEVICES INSPECTED|
  NO CSANOM(SEAL1,INT1,INT2), | MISSILE SHIELD SEAL IS|
  CHECK(CAMERA2,INT2), | 100% OK|
  NO CSANOM(CAMERA2,INT1,INT2) 90; | SUBJECTIVE VALUE FOR SF|
| POND CAMERA|
PREM NO RMANOM(OPBIL,CF,INT2) 95, | OPBIL CORRECTLY REFLECTS|
  NO RMANOM(OPBIL,SF,INT2) 95; | STATIC SITUATION. NOTE|
| CFS ARE CARRIED OVER!|
|*****|
| THIRD INTERIM INSPECTION|
|*****|
PREM AUDIT(OPBIL,INT3), | RECORDS AUDITED|
  AUDIT(STDS23,INT3);
PREM NO EXIST(RECFF23,INT3);
PREM IC(SHPSF23,INT3), | SHIPMENT TOOK PLACE, ITEMS|
  IDENT(SHPSF23,INT3); | WERE COUNTED AND IDENTIFIED|
PREM NO RRANOM(STDS23,SHPMNT23,INT3),
  NO RMANOM(STDS23,SHPSF23,INT3);
PREM NO RMANOM(STDS23,RECFF23,INT3),
  NO RRANOM(STDS23,RECPT23,INT3);
PREM IC(SF,INT3), | SINCE SF WAS SHIPPED, THE|
  IDENT(SF,INT3); | SF POND WAS REVERIFIED|
PREM NO RMANOM(OPBIL,SF,INT3) 95;
PREM CHECK(SEAL1,INT3), | SEAL ON MISSILE SHIELD STILL|
  NO CSANOM(SEAL1,INT2,INT3); | OK|
PREM NO RMANOM(OPBIL,CF,INT3);
|*****|
| PHYSICAL INVENTORY VERIFICATION|
|*****|
PREM AUDIT(OPBIL,EPIVT), | REPORTS WERE AUDITED|
  AUDIT(STDS34,EPIVT);
PREM NO EXIST(RECFF34,EPIVT), | NO RECEIPTS OR SHIPMENTS IN|
  NO EXIST(SHPSF34,EPIVT); | FINAL QUARTER, AND THIS WAS|
```

PREM NO RRANOM(STDS34,ICRS,EPIVT),	CONSISTENT WITH RECORDS AND
NO RMANOM(STDS34,RECFF34,EPIVT),	REPORTS
NO RMANOM(STDS34,SHPSF34,EPIVT);	
PREM NO RRANOM(OPBIL,EPIL,EPIVT) 95;	RECORDS CONSISTENT WITH
PREM CHECK(SEAL1,EPIVT),	FINAL PIL, TO 95%
NO CSANOM(SEAL1,INT3,EPIVT);	CORE NOT ACCESSIBLE, BUT
PREM IC(FF,EPIVT),	SEAL OK
NDA(FF,EPIVT),	VERIFICATION OF SPENT AND
IC(SF,EPIVT),	FRESH FUEL ELEMENTS
IDENT(SF,EPIVT);	
PREM CHECK(CAMERA2,EPIVT),	DOPPELT-GEMOPPELT HAE
NO CSANOM(CAMERA2,INT3,EPIVT) 95;	BESSER
PREM NO RMANOM(OPBIL,FF,EPIVT) 90,	NO DEFECTS WERE OBSERVED
NO RMANOM(OPBIL,CF,EPIVT) 95,	
NO RMANOM(OPBIL,SF,EPIVT) 90;	
PREM LE(MUF,AVG);	REPORTED MUF WAS ZERO